

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
STROJNÍ FAKULTA

AVIONICKÝ SYSTÉM PRO UAV

UAV Avionics System

Student: Bc. Petr Plaček

Vedoucí: Ing. František Martinec, CSc.

Ostrava 2013

Zadání

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne.....

.....

Bc. Petr Plaček

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB - TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít. (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB - TUO k prezentačnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu užití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne

.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce: Bc. Petr Plaček

Adresa trvalého pobytu autora práce: Varenská 2974/38, Ostrava 1, 702 00

Anotace

Bc. Petr Plaček, Avionický systém pro UAV, VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 74 stran,

vedoucí bakalářské práce: Ing. František Martinec, CSc.

Diplomová práce se zabývá problémem návrhu a následné implementace avionických systémů do bezpilotních prostředků určených k vyhledávání pohřešovaných osob či majetku v terénu. Definuje problematiku bezpilotních prostředků a avioniky jako celku, navrhuje princip činnosti komplexního systému UAV, hledá vhodné systémy pro konkrétní bezpilotní prostředky provádějící konkrétní činnost, vybírá a doporučuje koupi konkrétních avionických systémů a navrhuje algoritmus, jehož účelem je koordinovat spolupráci všech avionických systémů dříve doporučených.

Bc. Petr Plaček, UAV Avionics System, VŠB - Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical engineering, Institute of Transport, 74 pages,

thesis head: Ing. František Martinec, CSc.

The thesis is focused on the creation and implementation of avionic systems of unmanned aerial vehicles which are to be dedicated for search and rescue activities. It defines the challenges of unmanned aerial vehicles and avionics as a whole, outlines the principles of a complex UAV system, appoints appropriate systems for appropriate actions of unmanned aerial vehicles, recommends specific avionic systems to buy and suggests algorithms to coordinate the interaction of all avionic systems previously recommended.

Obsah

| | |
|--|----|
| 0. Úvod..... | 10 |
| 0.1. Cíl diplomové práce | 12 |
| 1. Bezpilotní prostředek – UAV/UAS | 13 |
| 1.2. Historie | 14 |
| 2. Avionika..... | 15 |
| 3. Současný stav projektu | 17 |
| 4. Návrh avioniky | 18 |
| 4.1. Model provozu systému UAS | 18 |
| 4.2. Systémy v bezpilotních prostředcích | 23 |
| 4.2.1. Navigační systém | 23 |
| 4.2.2. Aerometrický systém | 24 |
| 4.2.3. Systémy vyhledávání osob..... | 25 |
| 4.2.4. Systém automatického řízení | 25 |
| 4.3. Požadavky na pilota a operátora | 27 |
| 5. Návrh konkrétních avionických systémů..... | 28 |
| 5.1. Sledovací systém | 28 |
| 5.2. Telemetrie | 35 |
| 5.2.1. Cenový výstup sledovacího a telemetrického systému..... | 40 |
| 5.3. Aerometrické systémy..... | 41 |
| 5.3.1. Výškoměr a variometr | 42 |
| 5.3.2. Rychloměr | 49 |
| 5.3.3. Přídavné avionické systémy..... | 53 |
| 5.4. Cenový výstup avionických systémů | 55 |
| 5.5. Hmotnost avionických systémů | 56 |
| 5.6. Spotřeba elektrické energie avionickými systémy | 57 |
| 6. Algoritmus spolupráce avionických systémů | 58 |

| | | |
|------|--|----|
| 6.1. | Tvorba algoritmu..... | 58 |
| 7. | Návrh algoritmu spolupráce avionických systémů | 59 |
| 7.1. | Dílčí algoritmy (podprogramy):..... | 61 |
| 7.2. | 1. pilotovaná fáze | 63 |
| 7.3. | Počáteční algoritmus | 64 |
| 7.4. | Přibližovací algoritmus | 65 |
| 7.5. | Algoritmus 1. fáze | 67 |
| 7.6. | Algoritmus 2. fáze a algoritmus 3. fáze | 68 |
| 7.7. | Návratový algoritmus..... | 69 |
| 7.8. | 2. pilotovaná fáze | 70 |
| 8. | Zhodnocení naplnění cílů diplomové práce..... | 72 |
| 8.1. | Závěr | 73 |
| | Seznam použité literatury | 74 |

Seznam použitých značek a symbolů

| | | |
|--------|---|---|
| AFCS | Aircraft Flight Control System | Systém řízení letounu |
| DME | Distance Measuring Equipment | Měřič vzdálenosti |
| ECAM | Electronic Centralised Aircraft Monitor | Centrální monitorovací systém letounu |
| EEPROM | Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory | Elektricky mazatelná semipermanentní paměť |
| EFIS | Electronic Flight Information System | Elektronický letový informační systém |
| EICAS | Engine-Indicating and Crew-Alerting System | Motorový indikační a varovný systém |
| FAA | Federal Aviation Administration | Federální letecký úřad |
| FADEC | Full Authority Digital Engine Control | Systém digitálního řízení motoru |
| FBW | Fly by Wire | Elektronické ovládání řídicích ploch letounu |
| FMS | Flight Management System | Letový řídicí systém |
| GPRS | General Packet Radio Service | Mobilní datová síť |
| GPS | Global Positioning System | Globální družicový polohový systém |
| GPWS | Ground Proximity Warning System | Varovný systém nebezpečné blízkosti země |
| GS | Ground Speed | Rychlost vůči zemi |
| GSM | Groupe Spécial Mobile | Globální systém pro mobilní komunikaci |
| IAS | Indicated Airspeed | Indikovaná vzdušná rychlost |
| ILS | Instrument Landing System | Systém zabezpečující přistání podle přístrojů |
| LCD | Liquid Crystal Display | Displej z tekutých krystalů |
| MEMS | Micro-Electro-Mechanical Systems | Mikro-elektricko-mechanické systémy |
| QNH | | Výška počítající s aktuálním tlakem přepočteným na střední hladinu moře |

| | | |
|------|--|------------------------------------|
| RSAT | | Satelitní přenos rádiového signálu |
| RSBN | радиотехническая система ближней навигации | Rádiový systém blízkého navádění |
| SA | | Stanovená výška letu |
| SAR | Search And Rescue | Pátrání a záchrana |
| SAŘ | | Systém automatického řízení |
| SV | | Stanovená rychlost letu |
| TAS | True airspeed | Pravá vzdušná rychlost |
| UAS | Unmanned Aircraft System | Bezpilotní letoun |
| UAV | Unmanned Aerial Vehicle | Bezpilotní letoun |
| USA | United States of America | Spojené státy americké |
| USB | Universal Serial Bus | Univerzální sériová sběrnice |
| VHF | Very High Frequency | Velmi krátké vlny |
| VKV | | Velmi Krátké Vlny |
| VOR | VHF Omnidirectional Radio Range | VKV všesměrový radiomaják |
| VBPV | | Výchozí Bod Pro Vyhledávání |
| VPD | | Vzletová a Přistávací Dráha |

0. Úvod

Letectví hraje v dnešním světě nepostradatelnou roli. Miliony lidí jsou na něm přímo závislí. S technologickým pokrokem dochází ke zvyšování důležitosti letectví. To jde ruku v ruce se snižujícími se náklady na výrobu a provoz létajících zařízení.

Je lidskou vlastností neustále mechanismy zdokonalovat. Neustále se snažit najít výhodnější, ekonomičtější a především účinnější řešení problémů. Z toho důvodu letecká technologie dospěla do stádia, ve kterém se stává ekonomicky i technologicky přívětivou. Začíná prostupovat i do jiných oblastí, než je jen vojenství a doprava. Jednou z těchto oblastí je i lokalizace a s tím spojená záchrana pohřešovaných osob či majetku, neboli SAR.

Vyhledávání pohřešovaných osob či majetku pomocí leteckých prostředků je velice účinný způsob, jak dosáhnout požadovaných cílů. Nevýhodou je ovšem vysoká ekonomická náročnost provozu. Tento nevýhodný aspekt řeší nasazování takzvaných bezpilotních prostředků.

K rapidnímu vývoji bezpilotních prostředků v posledních dekáдах přispěly především vojenské programy rozdílných států. Vedle vývoje zbraňových systémů osazených na těchto letounech, docházelo a nadále dochází i k vývoji systémů spojených se samotným provozem. Tyto technologie se nyní dostávají do civilního segmentu a je možné jejich využití v nejrůznějších projektech.

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava v současné době vyvíjí systém, jehož určením je na bázi bezpilotních letounů provádět činnost SAR. Jedná se o velice komplexní a sofistikovaný projekt. Tento projekt je částečně řešen formou bakalářských a diplomových prací studentů, kdy jsou jednotlivé problémy specifikovány a následně jednotlivě řešeny.

Tato diplomová práce je součástí rozsáhlejšího výzkumu a zabývá se avionickým systémem, jenž bude součástí jak samotných bezpilotních letounů - UAV, tak vyhledávacího systému jako celku - UAS.

V průběhu této diplomové práce je přibližována otázka bezpilotních prostředků a avioniky jako celku, je analyzován projekt probíhající na Vysoké škole báňské – Technické

univerzitě Ostrava, jež je zmíněn výše a analyzovány avionické systémy, které budou pro jednotlivé prostředky nezbytné.

V další části je vždy navrženo několik konkrétních avionických systémů, z nichž je vybrán jeden, který bude dosazen do konkrétního letounu. Tento výběr je prováděn na základě předem stanovených požadavků. Avionický systém je v této fázi velice komplexní a jeho jednotlivé části určeny k velmi úzké spolupráci. To je také podpořeno poslední částí diplomové práce, jež se zabývá návrhem algoritmu spolupráce avionických systémů.

Z výše zmíněného vyplývá, že jednotlivé části této práce na sebe navazují a proto není možné řešit, či implementovat pozdější závěry, aniž by bylo dbáno na doporučení uvedená dříve.

Ve finále totiž vzniká velice komplexní systém, jehož jednotlivé části společně spolupracují a vzájemně se doplňují. Samozřejmě vznikne nějaký prostor pro pozdější přizpůsobení avionického systému konkrétním, již v té době navrženým a zkonstruovaným letounům, ale tento prostor bude předem jasně vymezen.

0.1. Cíl diplomové práce

Tato práce si klade následující cíle:

- Přiblížit problematiku vývoje systému pro vyhledávání osob nebo majetku prostřednictvím UAV při VŠB – Technické univerzitě Ostrava.
- Navrhnout princip činnosti tohoto systému.
- Vybrat a doporučit k nákupu konkrétní avionické systémy.
- Návrh algoritmu spolupráce jednotlivých avionických systémů.

1. Bezpilotní prostředek – UAV/UAS

UAV je zkratkou anglického sousloví Unmanned Aerial Vehicle, což v překladu znamená Neobsazený letecký dopravní prostředek, nebo lépe Bepilotní letoun. Americký úřad pro letectví, FAA, používá zkratku UAS – Unmanned Aerial System, což lze do češtiny přeložit také jako bezpilotní letoun, ovšem slovíčko system dává tušit, že se jedná spíš o komplexní zařízení, než o jednotlivý prostředek. Tudíž o celý systém, včetně řídicí jednotky a všech podpůrných systémů. V posledních letech také česká terminologie přebírá americký výraz UAS a postupně dochází k nahrazování výrazu UAV. Z důvodu zachování maximální přehlednosti budu v této práci operovat s oběma výrazy. Termín UAV budu používat v případech, kdy se hovoří o konkrétních letounech systému. A termín UAS budu používat v případech, kdy se hovoří o systému jako celku, jenž obsahuje několik UAV, pozemní stanici a další příslušenství.

Jak už název UAV vypovídá, jedná se o letoun bez lidského pilota na palubě. Existují 3 základní způsoby, jak mohou být UAV ovládány. Jedná se o:

- ovládání pilotem prostřednictvím pozemní stanice
- řízení počítači pomocí předprogramovaných postupů
- řízení pomocí složitějších dynamických autonomních systémů

UAS jsou velice závislé na minituralizaci. Jednou z výhod těchto prostředků jsou kompaktní rozměry a tím snížené výrobní náklady. Je proto vcelku pochopitelné, že v posledních dekáдах let dochází k obrovskému rozvoji technologií bezpilotních letounů. Dnes mohou být UAS používány k mnoha účelům, ať už v civilním nebo především ve vojenském sektoru. Z těch civilních jmenujme například lokalizaci a hašení požárů nebo využití při hledání a záchraně pohřešovaných osob. Ve vojenském sektoru se UAS používají jako průzkumné či útočné systémy. Zajímavostí je, že naváděné rakety mají své předky právě mezi zástupci UAS. Například německé letounové středy V-1 a V-2 nebo řízená puma Fritz-x, vyvíjené v období druhé světové války se řadí mezi UAS. Ovšem nyní se naváděné rakety do rodiny UAS prostředků nepočítají, jelikož se jedná o zbraně. UAS můžeme podle typu rozdělit do několika základních kategorií:

- Cíle a návnady – jedná se o cíle pro pozemní dělostřelectvo. Simulují nepřátelské letouny nebo řízené střely.

- Průzkumné – poskytují průzkum bojišť
- Bitevní – provádějí vysoko-rizikové útočné mise
- Výzkumné a vývojové – používají se k dalšímu vývoji UAS
- Civilní a komerční – UAS speciálně navržená pro civilní a komerční službu

[3,4]

1.2. Historie

Historie UAS sahá až do období samotných počátků letectví. Jak je již u letectví zvykem, stejně jako u mnoha jiných technologií, dochází k největšímu rozvoji UAS právě díky výzkumům pro válečné účely. Ranné prostředky UAS nabývaly podoby balónů.

Například prvním využitím, i když jen velice vzdáleně připomínajícím UAS, bylo vypuštění pozorovacích balónů vybavených zápalným zařízením. K vypuštění došlo během Americké občanské války, která probíhala v letech 1861-1865. Severní Unie tehdy vypustila tyto balóny a doufala, že dojde k založení požárů za bitevními liniemi jižanské Konfederace. Nebo v roce 1944 vypustilo císařské Japonsko obdobné balóny vybavené zápalnými bombami, které se měly dostat prostřednictvím Jet streamů nad území USA a způsobit tam rozsáhlé lesní požáry. [1]

Prvním bezpilotním letounem se stal stroj pojmenovaný *Aerial Target*. Zkonstruoval jej v roce 1916 profesor Archibald Montgomery Low. Celkově, v období První světové války, docházelo k vývoji bezpilotních prostředků na půdě USA. Ačkoliv výsledky letových zkoušek byly nevyrovnané, armáda jejich potenciál rozpoznala. Příkladem těchto výzkumů budiž stroj nazvaný *Sperry Aerial Torpedo*, který byl vyvinut v roce 1917 doktorem Petrem Cooperem a Elmerem A. Sperrym. Mimo jiné v tomhle letounu byl poprvé použit automatický gyroskopický stabilizér. Než ovšem mohly tyto stroje zasáhnout do bojů, byla válka u konce. [2,3]

Po první světové válce se vývoj UAS velice významně zpomalil. Armády využívaly tyto prostředky k cvičným účelům. Významnější stroj se objevil až v roce 1935. Jmenoval se DH.82B Queen Bee a jednalo se o první UAS schopné návratu a opětovného použití.

Zřejmě nejznámějšími UAS jsou, Němci za druhé světové války vyvinuté, rakety V-1 a V-2. Jednalo se o letounové střely vybavené jednoduchým autopilotem. Ale prvním bezpilotním prostředkem vyráběným ve velkých sériích byly radioplány, vyvíjené od roku 1939 společností Radioplane Company. Letectvo Spojených států amerických objednalo tisíce těchto letounů, které startovaly z katapultu a přistávaly pomocí padáku. Využívaly se jako cvičné cíle pro pozemní protiletadlovou obranu.

Až do šedesátých let se UAS využívaly převážně jako cvičné cíle a dálkově řízené letouny. Ovšem v období Vietnamské války se začalo s jejich využitím i jako špiónážních prostředků. Jedním z prvních špiónážních UAS se stal stroj s názvem AQM-34 Ryan Firebee. S úspěchem který tento stroj slavil, započaly s vývojem UAS i jiné státy. Se svými programy přišel například Izrael, který se stal jedním z předních států vyvíjejících bezpilotní prostředky. Bohužel v době sedmdesátých let byly tyto stroje nedokonalé. Problémy činily především systémy navigace a vedení letu. Od osmdesátých let, tedy od doby nástupu mikroprocesorů a úspěchů v oblasti miniaturalizace, dochází k ohromnému rozvoji UAS ať už ve vojenském, ale především v civilním sektoru. [1,2,3]

2. Avionika

Avionikou nazýváme elektrické a elektronické systémy v letounech, satelitech a vesmírných dopravních prostředcích. Avionika zahrnuje množství systémů, které se mohou ve výše zmíněných prostředcích objevovat. My se ovšem zaměříme na avioniku, která se vyskytuje v letounech.

Jak již bylo řečeno, jedná se o desítky, ne-li stovky systémů. V dnešní době bývají tyto systémy propojeny a společně tvoří velice sofistikovaný prvek, bez něhož by moderní letouny v podobě, v jaké je známe, nemohly existovat.

Avionika se vyvíjí téměř od počátků letectví společně s vývojem letounů. První avionický přístroj byl vyvinut v období První světové války a jednalo se o gyroskopický stabilizátor. Do období Druhé světové války bylo vymyšleno a zdokonaleno mnoho

avionických systémů. Ovšem tyto systémy vzájemně téměř nekooperovaly a proto na pilota byly vynášeny obrovské požadavky. S koncem Druhé světové války se vývoj avioniky začal ubírat jiným směrem. Místo pouhého zvyšování spolehlivosti letounu měly avionické systémy také integrovat a zjednodušovat výstupní informace letounu. To znamená, že k pilotovi se mají dostávat pouze informace důležité. V tomto novém směru vývoje avioniky také začaly vznikat elektronické avionické systémy, jejichž vývojové variace můžeme nalézt v dnešních letounech. Další výrazný rozvoj zažil vývoj avioniky v osmdesátých letech dvacátého století. Díky úspěchům ve vývoji procesorů mohly zpracovávat sjednocené avionické systémy více informací najednou a podávat ucelený výstup (tzv. multitasking). Společně s multitaskingem dochází k vývoji a uvedení prvních systémů Fly by Wire. V současné době tvoří výdaje za vývoj avioniky podstatnou část všech výdajů za vývoj celého letounu.

Jak již bylo řečeno, avionika se skládá ze spousty podsystémů. Tyto podsystémy jsou:

- Systémy řízení a kontroly motorů – mezi tyto systémy patří například Systém digitálního řízení motoru (Full Authority Digital Engine Control – FADEC) nebo Motorový indikační a varovný systém (Engine-indicating and crew-alerting System- EICAS)
- Aerometrické systémy – jedná se o systémy, měřící údaje samotného letu, jako je na příklad rychlost, výška, vertikální rychlost nebo velikost úhlu náběhu
- Navigační systémy – mezi tyto systémy patří například družicové navigační systémy, inerciální systém, radiokompasy, systémy rádiové navigace (VOR, DME, ILS, RSBN).
- Komunikační systémy
- Letový řídicí systém (Flight Management System – FMS) a autopilot
- Varovný systém nebezpečné blízkosti země (Ground Proximity Warning System – GPWS)
- Systémy řízení letounu – mezi tyto systémy patří například stabilizační systémy nebo Systém řízení letounu (Aircraft Flight Control System – AFCS)
- Centrální monitorovací systém letounu Electronic Centralised Aircraft Monitor – ECAM)

- Zobrazovací systémy – mezi tyto systémy patří například Elektronický letový informační systém (Electronic Flight Information Systém – EFIS) nebo LCD panely v kokpitu zobrazující jiné informace

[3,5,6]

3. Současný stav projektu

V roce 2010 byl na Vysoké škole báňské – technické univerzitě Ostrava odstartován projekt Bezpilotní metrologické systémy. Tento projekt vznikl z iniciativy pana Ing. Františka Martince, CSc. . Cílem projektu je navrhnout vhodný bezpilotní prostředek, nebo prostředky, které by byly schopny účinného pátrání po ztracených předmětech či osobách v členitém terénu pomocí snímání parametrů hledaného objektu na dálku s využitím frekvenčních spekter a několika snímacích metod.

V současné době probíhá zkoumání a vývoj několika aspektů, které budou tvořit základy tohoto projektu. Momentálně se uvažuje, že tento metrologický bezpilotní systém bude sestávat z několika nezávislých, avšak společně operujících a doplňujících se UAV. Systém bude složen ze šesti jednotek a pozemní stanice. Čtyři z těchto jednotek budou tvořit UAV typu křídlo, jejichž cílem bude provádění samotného vyhledávání. Pátou jednotkou bude UAV ve formě kvadrokopteru. Úlohou tohoto UAV bude bližší zkoumání podezřelé oblasti. Jelikož je dosah radiových stanic těchto UAV omezený a akční rádius by byl malý, ne-li nedostatečný, bude šesté UAV sloužit jako stanice pro zesílení signálu mezi pozemní stanicí a UAV zabezpečujícími vyhledávání. Forma a tvar tohoto UAV zatím není stanovena. Ovšem ideální by bylo UAV schopné kolmého vzletu a přistání.

Byly také prováděny letové zkoušky UAV s klasickým uspořádáním a UAV typu křídlo. UAS klasického uspořádání ovšem nesplnilo očekávání. Nebylo dostatečně stabilní ve vodorovném ustáleném letu a provádění měření a vyhledávání pohřešovaných osob nebo předmětů by bylo problematické. Ovšem letové zkoušky UAV typu křídlo byly shledány za uspokojivé a proto se další vývoj bude zaměřovat právě na tenhle typ stroje.

Současně probíhají projekty zabývající se návrhem inerciální navigace, systémů predikce polohy, biometrických systémů využívaných k vyhledávání pohřešovaných osob či předmětů, návrhem prostředku schopného kolmého vzletu a přistání nebo zabývající se ekonomickým rozbořem a výnosností daného projektu.

V následujících kapitolách budu rozebírat jednotlivé avionické systémy, zhodnotím jejich přínos pro UAS a stanovím, které konkrétní systémy by se měly na palubě jednotlivých prostředků nacházet.

4. Návrh avioniky

Při návrhu avioniky musíme vycházet z několika limitujících faktorů. Jsou jimi právní omezení, ale především omezení týkající se hmotnosti a spotřeby elektrické energie. Konstrukce UAV, vzhledem ke své velikosti, má pouze omezené užitečné zatížení. Samotná nosnost UAV typu křídlo je 2,5 kg. Do této hmotnosti je ovšem potřeba započítat mimo jiné hmotnost baterie, která činí přibližně 0,5 kg. To znamená, že zbylé systémy jako celek, nesmějí přesáhnout hmotnost 2kg. Je také potřeba dbát dodržení předpisů, konkrétně směrnice CAA/S-SLS-010-n/2012.

Než se pustíme do samotného návrhu avioniky, je potřeba stanovit podmínky, ve kterých bude prostředek provozován a poté vybrat k tomuto účelu ideální systémy.

4.1. Model provozu systému UAS

Výše zmíněný systém UAS bude primárně sloužit k hledání ztracených osob či předmětů v členitém, neznámém terénu. K tomuto účelu bude využívat soustavu biometrických zařízení, které pracují na dálku pomocí analýzy frekvenčních spekter.

Samotný systém bude tvořen následujícími komponenty:

- Pozemní kontrolní stanice
- 1x UAV poskytující spojení
- 4x UAV provádějící samotné hledání
- 1x UAV provádějící bližší průzkum podezřelé oblasti

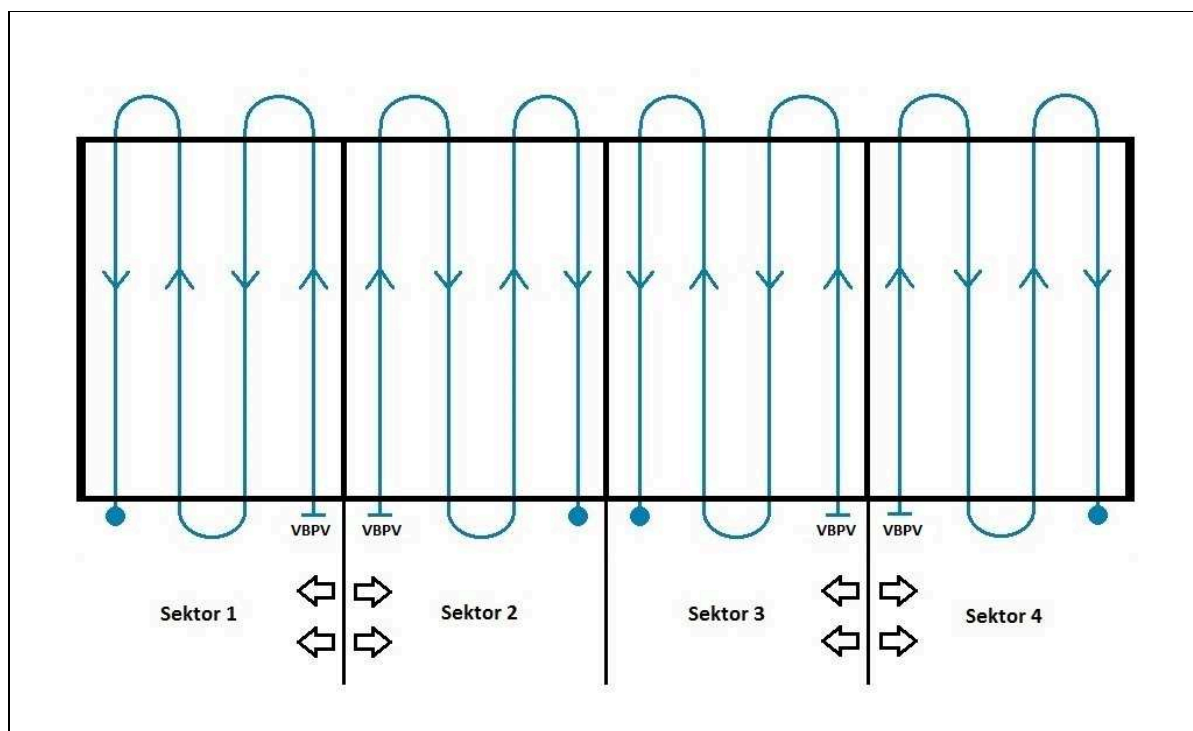
Obsluhu tohoto systému by měly tvořit maximálně 2 osoby. Systém jako celek bude fungovat na následujícím principu:

Všechna vyhledávací UAV v tomto systému budou spadat do kategorie autonomních letadel, s jedinou výjimkou, kterou bude zásah pilota do jejich řízení při startu a přistání, které bude prováděno vizuálně. To znamená bez využití aerometrických přístrojů. Každé ze čtyř UAV provádějících vyhledávání bude mít zadánu předem přesně stanovenou oblast, ve které bude vyhledávání prováděno.

Pilot provede samotný start a navede UAV do výchozí pozice, ze které bude samotný let prováděn systémem automatického řízení. V této výchozí pozici započne UAV s vyčkáváním pravotočivými zatáčkami až do okamžiku, kdy dojde k aktivaci operátorem. Po aktivaci systému automatického řízení – SAR operátorem se UAV přemístí po nejkratší možné trase přímo do výchozího bodu pro vyhledávání - VBPR. Tam opět započne s vyčkáváním pravotočivými zatáčkami až do momentu, kdy operátor samotné vyhledávání schválí. Ideálně by měly všechny vyhledávací UAS započít vyhledávání současně.

Oblasti vyhledávání je potřebné stanovit tak, aby mezi nimi nebyla hluchá místa. Algoritmus po odstartování navede letadlo nejkratší možnou trasou do určené oblasti a poté pomocí série rovnoběžných, ustálených, přímých letů provede prozkoumání oblasti. Je potřeba si uvědomit, že algoritmus musí být nastaven tak, aby neumožňoval hledané osobě, pokud bude mobilní, přejít z jednoho sektoru do druhého v době, kdy již ve vedlejším sektoru byla daná oblast prohledána. Proto je potřeba, aby docházelo k přesunu vyhledávacích UAV do operační oblasti ve dvojicích, aby jednotlivé dvojice UAV prováděly průzkum oblasti buď ze vzájemně blízkých výchozích bodů, nebo aby se k sobě přibližovaly.

Vzhledem k povětrnostním podmínkám mohou být jednotlivé zatáčky provedeny nerovnoměrně a řídicí algoritmus bude na tyto výchyly reagovat. Tím by mohlo dojít k rozhození vyhledávacího obrazce. Z toho důvodu budou zatáčky prováděny mimo oblast vyhledávání a UAS do oblasti vstoupí v okamžiku, kdy bude provádět vodorovný, ustálený let.



Obr. 4.1 – Schéma způsobu návrhu trati vyhledávacích UAV

Samotné prohledávání sektoru bude prováděno v několika výškách. Základní výška pro vyhledávání je stanovena na 250-350 metrů nad terénem. V této výšce bude mít UAV největší záběr prohledávaného území, ovšem k vyhledávání bude využívána pouze kamera. Proto může dojít k přehlédnutí některých znaků či důkazů přítomnosti hledaného osoby /předmětu. Jakmile dojde k ukončení prohledávání daného sektoru v základní výšce a objekt nebude nalezen, sestoupí vyhledávací UAV do menší výšky, aby mohlo dojít k aktivaci a využití ostatních biometrických systémů. Výška a s tím spojené využití systému bude nastavena, podle aktuální potřeby, operátorem. V praxi to znamená, že se snižující se výškou, může UAV k vyhledávání využít systémy infrakamery a poté i mikrofonu. Bližší specifikací a návrhem těchto systémů se ve své práci zabývá Bc. Tomáš Szajna.

Vyhledávací UAV budou pracovat samostatně. V okamžiku, kdy dojde k prohledání daného sektoru, budou vyčkávat prováděním pravotočivých zatáček na poslední zadané pozici. Poté budou operátorem odeslány buď do nového sektoru, do nové výšky pro vyhledávací let nebo se vrátí.

Dalším prostředkem UAV v systému UAS je letoun v podobě kvadrokopteru. Tento stroj se vyznačuje především velice dobrou manévrovatelností, schopností kolmého vzletu a přistání a s tím spojenou schopností udržovat ve vzduchu ustálenou pozici. Pracovně si nazvěme toto UAV jako UAV bližšího průzkumu. Jak již z názvu vychází, bude tento prostředek využíván k bližšímu prohledání podezřelých oblastí, které označí vyhledávací UAV. Prohledávání a let samotný bude řízen ručně a to přímo pilotem, jelikož operační výška tohoto prostředku bude pouhých několik metrů nad zemí a současné systémy neumí, nebo by byla realizace velice drahá, provádět takto pilotně precizní lety.

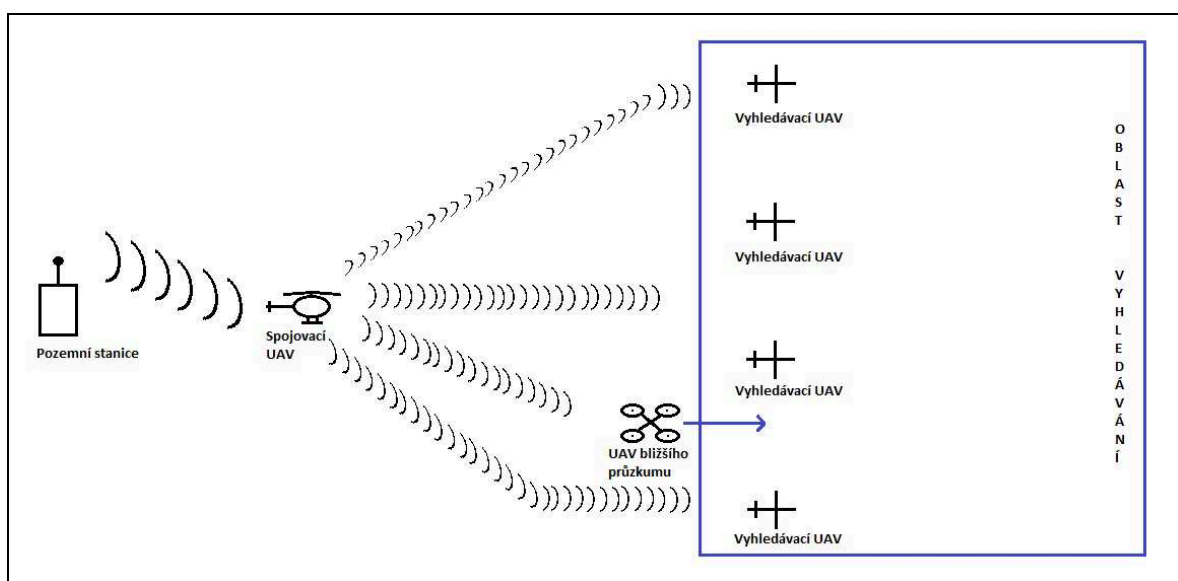
UAV bližšího prohledávání bude do oblasti vysláno ještě před vysláním vyhledávacích UAV. Poté v co největší blízkosti prohledávaného území přistane a bude čekat na výsledky hledání vyhledávacích UAV. Jakmile systém vyhodnocování určí podezřelou oblast, tzn. oblast, ve které by se mohl nacházet hledaný objekt (rámcově bude mít oblast rozlohu desítek metrů čtverečních), UAV bližšího prohledávání neprodleně do oblasti odletí a provede průzkum.

Zpáteční let vyhledávacích UAV bude prováděn automaticky po nejkratší možné trase a končí ve stejném bodě, ve kterém pilot předával UAV automatickému systému řízení. V tomto bodě započne UAV vyčkávání pravotočivými zatáčkami. V poslední fázi se ovládání UAV zmocní pilot a provede samotné přistání. Je žádoucí, aby vyčkávací místa pro každé UAV byla jiná (ať už oddělené vertikálně či horizontálně.) Je také důležité, aby algoritmus, který bude tyto prostředky ovládat, obsahoval bezpečnostní prvek, který zajistí, že v okamžiku dosažení příslušné hodnoty baterie se UAV ihned navrátí.

Přistávací mechanismus jednotlivých UAV se bude lišit. UAV schopné kolmého vzletu a přistání budou přistávat klasicky, tzn. kolmě. Vyhledávací UAV budou přistávat pomocí padáku. Využití padáku je pro pilota časově nenáročné a tudíž bude schopen přistát s několika UAV v relativně krátkém čase. Aby nedocházelo ke zdržení způsobenému opětovným skládáním padáku, bude tento systém řešen modulární formou. V praxi to bude znamenat, že po přistání UAV dojde k výměně celého padákového modulu a UAV bude ihned po dobití baterií schopen letu.

Jak již bylo řečeno, vyhledávací UAV budou pracovat samostatně. Proto není potřeba primárně zobrazovat aerometrické údaje na monitorech pozemní stanice. Ovšem ihned budou odesílány a zobrazovány naměřené údaje týkající se prohledávaných sektorů a údaje stanovující polohu letadla. Aby byl dosah těchto vysílání co nejvyšší, bude využit šestý prostředek UAV, který bude tyto signály zachycovat a distribuovat dále.

Spojovací UAV by mělo být schopno kolmého vzletu a přistání. Jedná se o prostředek spadající do dálkově řízených letadel. To znamená, že vzlet, let samotný, výběr vhodné přistávací plochy a přistání bude prováděno přímo operátorem / pilotem. Primárním účelem tohoto UAV je distribuovat signály vysílané vyhledávacími UAV. Tento prostředek odstartuje jako první a vrátí se jako poslední a v závislosti na prohledávaném území bude moci měnit svou polohu.



Obr. 4.2 – Schéma součinnosti systému UAV

Pozemní stanice bude umístěna, s výjimkou přijímačů a vysílačů, v dodávkovém autě a je v podstatě tvořena následujícími prvky:

- Přijímač, vysílač
- Výpočetní centrum (jeden či více počítačů)
- Informační zobrazovací jednotky
- Řídící a ovládací prvky

V následující kapitole se zaměříme na konkrétní systémy, které budou jednotlivé UAV prostředky obsahovat.

4.2. Systémy v bezpilotních prostředcích

Systémy, které budou at' už vyhledávací, spojovací či UAV bližšího průzkumu obsahovat, vycházejí ze základních systému, které můžeme nalézt na jakémkoli jiném letounu. Ovšem vzhledem ke specifickým požadavkům našich UAV a vzhledem k poměrně nízké nosnosti je potřeba některé součásti systémů postrádat. Pojd'me si nyní přiblížit jednotlivé systémy, které budou konkrétní UAV (vyhledávací, spojovací, bližšího průzkumu) obsahovat:

4.2.1. Navigační systém

A. Vyhledávací UAV

Pro vyhledávací UAV je velice důležitý systém predikce polohy. Vzhledem k tomu, že se jedná o bezpilotní prostředek, bylo by využití jiného systému, než Globálního družicového polohového systému - GPS či budoucího Galilea zbytečně nákladné a v neposlední řadě také těžké. Ostatní navigační systémy, at' už inerciální nebo rádiové jsou pro naše použití zbytečné, jelikož v porovnání s GPS jsou hmotnostně na úplně jiné úrovni a jejich funkci lze satelitními systémy nahradit.

B. Spojovací UAV

Stejně jako u vyhledávacího UAV bude tvořit základ navigačního systému systém GPS či později systém Galileo. Na rozdíl od vyhledávacích UAV, u kterých probíhá let automaticky, je spojovací UAV ovládáno pilotem po celou dobu letu.

Proto je potřeba vybavit jej systémem kamer, které budou monitorovat oblast, ve které se UAV pohybuje a pilot pomocí nich bude schopen vyhledat vhodné místo na přistání a poté přistání provést.

C. UAV bližšího průzkumu

Vzhledem k tomu, že se jedná o UAV kompletně spadající do kategorie dálkově řízených letadel, musí, stejně jako spojovací UAV, kromě prvků navigačního satelitního systému GPS či Galileo obsahovat také systém kamer.

4.2.2. Aerometrický systém

A. Vyhledávací UAV

Vzhledem k tomu, že vyhledávací UAV budou provádět aktivní lety na poměrně velkém území, může v průběhu letu docházet k významným meteorologickým změnám. Jelikož je, vzhledem k požadavkům na kvalitní výsledky vyhledávacího systému, potřeba zabezpečit co nejplynulejší let, musíme aktivně monitorovat parametry letu a ihned na ně reagovat. Proto je nutné, aby na palubě každého vyhledávacího UAV byl systém měřící rychlost letounu, výšku letounu a horizontální rychlost letounu. UAV je také možné osadit systémy, které budou měřit provozní údaje stroje (otáčkoměr, teploměry atd.).

B. Spojovací UAV

Jelikož se jedná o prostředek, který bude plně řízen pilotem, je potřeba aby tento prostředek obsahoval kompletní sadu základních aerometrických systémů. Konkrétně se jedná o výškoměr, rychloměr a variometr. UAV je také možné osadit systémy, které budou měřit provozní údaje stroje.

C. UAV bližšího průzkumu

Stejně jako u spojovacího UAV je potřeba, aby tento prostředek obsahoval kompletní sadu základních aerometrických systémů, jako je rychloměr, výškoměr a

variometr. UAV je také možné osadit systémy, které budou měřit provozní údaje stroje.

4.2.3. Systémy vyhledávání osob

A. Vyhledávací UAV

Prostředek bude osazen konkrétními biometrickými systémy. Návrhem těchto systémů se ve své práci zabývá Bc. Tomáš Szajna.

B. Spojovací UAV

Tento prostředek nebude obsahovat žádné systémy vyhledávání osob.

C. UAV bližšího průzkumu

Prostředek bude osazen konkrétními biometrickými systémy. Návrhem těchto systémů se ve své práci zabývá Bc. Tomáš Szajna

4.2.4. Systém automatického řízení

A. Vyhledávací UAV

Tento systém bude s výjimkou startu a přistání pracovat neustále. Pilot provede samotný start a navede UAV do výchozí pozice, která bude v systému zadána. Poté převezme řízená systém automatického řízení a po nejkratší možné trase povede UAV do výchozího bodu vyhledávání. V tomto bodě začne vyčkávání formou pravotočivých zatáček a bude čekat na signál od operátora. V okamžiku, kdy dostane signál, započne UAV samotné vyhledávání ve stanoveném sektoru, které bude tvořeno sérií rovnoběžných letů ve stanovených výškách. Trať a výška těchto letů bude předem stanovena. Po dokončení prohledávání daného sektoru UAV započne

s vyčkáváním pravotočivými zatáčkami. Vyčkávání bude prováděno na poslední známé pozici zadané v systému. Poté, dle pokynů od operátora, dojde k návratu UAV na základnu, budou poskytnuty údaje k prohledávání sektoru v jiné výšce nebo dojde k přesunu k prohledávání dalšího sektoru. Jak již bylo zmíněno, systém automatického řízení bude obsahovat bezpečnostní pojistku, která v případě poklesu napětí v baterii pod danou úroveň ihned ukončí veškeré aktivity a UAV započne let na základnu.

B. Spojovací UAV

Jelikož se jedná o zcela dálkově pilotem řízený letoun, nebude spojovací UAV obsahovat žádný systém automatického řízení.

C. UAV bližšího průzkumu

Stejně jako u spojovacího UAV se jedná o zcela dálkově pilotem řízený letoun. Systém automatického řízení letu tudíž nebude potřeba.

Částečné shrnutí:

Informace ze všech UAV budou distribuovány na zem, do pozemní stanice. Tuto distribuci bude zajišťovat telemetrický systém.

Co se zbylých avionických systémů týče, tak jednotlivé prostředky UAV budou obsahovat následující systémy:

- Sledovací zařízení
- Rychloměr
- Výškoměr
- Variometr
- Systémy monitorující provozní charakteristiky (otáčky motoru, teploty, stav baterie atd.) – tyto systémy nejsou nezbytné

4.3. Požadavky na pilota a operátora

Jak již bylo napsáno, systém je z větší části autonomní. Ovšem bez zásahu operátora / pilota není jeho provoz možný. K provozu je tedy potřeba minimálně jedna, ideálně dvě osoby. Jedná se o operátora a pilota. Pilot se stará o provádění letů samotných. Jedná se o ty fáze letů, které nejsou řízeny počítačem a společně s operátorem sleduje výstupy biometrických systémů. Operátor zadává oblasti vyhledávání, určuje trasy, po kterých budou lety prováděny. Na vyčkávacích místech aktivuje další části letů.

Úlohou pilota je:

- Nalézt vhodné místo startu a přistání – UAV jsou schopny odstartovat nebo přistát z velice krátké plochy. Ovšem první fáze letu je prováděna manuálně a proto je potřeba, aby bylo UAV ve vizuálním kontaktu s pilotem.
- Provést let spojovacího UAV. Po nalezení vhodné pozice pro přistání s UAV přistát. Po ukončení mise opět provést manuální let na základnu.
- Provést start a první fázi letu vyhledávacích UAV. – První fáze letu je část letu od startu do výchozí pozice, ve které bude kontrola nad UAV přebrána počítačem.
- Po návratu UAV z mise přebrat kontrolu nad vyhledávacími UAV a bezpečně je navést na přistání.
- Provést let s UAV bližšího průzkumu.
- Provést přistání se všemi UAV.
- Sledovat výstupy biometrických systémů.

Úlohou operátora je:

- Zkontrolovat trasu do oblasti pátrání a do daného sektoru pro každé UAV.
- Zadat sektory ve kterých budou konkrétní UAV vyhledávat.
- Stanovit způsob vyhledávání UAV v daném sektoru.
- Aktivovat jednotlivé části letů (let do/z vyhledávací oblasti, samotný vyhledávací let).
- Sledovat výstupy biometrických systémů.

5. Návrh konkrétních avionických systémů

Na následujících stranách se budu zabývat výběrem konkrétních avionických systémů. Tyto systémy budou rozděleny do několika základních kategorií. Uvedu jejich základní charakteristiky a vyberu nejvhodnější systém pro provoz v UAV. Výběr nejvhodnějšího systému bude záviset vždy na několika parametrech. Budou to především specifické parametry jednotlivých systémů (například obnovovací frekvence u telemetrie, či přesnost), hmotnost, spotřeba elektrické energie, provozní podmínky (teplota či vlhkost) a v neposlední řadě cena. Poté provedu cenovou kalkulaci, hmotnostní kalkulaci a také spočítám celkovou spotřebu elektrické energie po napojení jednotlivých avionických systémů.

5.1. Sledovací systém

Sledovací systém v UAV má za úkol sledovat a podávat v reálném čase informaci o poloze a směru pohybu námi sledovaného prostředku. Jedná se o jeden z hlavních navigačních systému využívaných v našich UAV. Kromě informace o poloze má tento systém za úkol spolupracovat s automatickým systémem řízení, který bude na základě údajů ze sledovacího systému provádět úpravy trasy letu.

Sledovací systém bude tvořen sledovacím zařízením fungujícím na bázi GPS nebo později na bázi satelitního navigačního systému Galileo. Vzhledem k úspoře hmotnosti je vhodné, aby sledovací zařízení, bylo co nejmenší.

Na následujících stranách vyberu nejvhodnější systémy, které by bylo možno pro UAV využít. Nastíním princip jejich činnosti, vyjádřím charakteristiky každého systému a uvedu jejich výhody a nevýhody. Nakonec navrhnou řešení a vysvětlím proč jsem vybral právě ten daný systém.

Sledovací zařízení TK-102B

Jedná se o GPS sledovací modul, schopný odesílat informace na vzdálenou platformu. Zařízení má vlastní baterii, ovšem bylo by vhodné prozkoumat napojení na centrální zdroj UAV. Tím by se snížila především hmotnost.

Přenos GPS souřadnic a ostatních informací na vzdálenou platformu, kterou by v našem případě představovala pozemní stanice, je prováděn pomocí využití mobilních datových sítí (General Packet Radio Service – GPRS), což je součást globálního systému pro mobilní komunikaci - GSM.

Minimální obnovovací frekvence pro odesílání signálu do pozemní stanice u tohoto zařízení je 20s. Bohužel sítě GSM mohou mít, především v neobydlených horských oblastech, nedostatečné pokrytí signálem.



Obr. 5.1 – TK-102B

Charakteristiky:

- Rozměry: 64mm x 46mm x 17mm

- Pásmo: 850 / 900 / 1800 / 1900 MHz
- Sítě: GSM / GPRS
- GPS chip: SIRF3 chip
- GPS přesnost: 5m
- Hmotnost: 50g
- Čas inicializace: studený start: 45s, teplý start: 35s, znovuzapnutí: 1s
- Obnovovací frekvence: 20s
- Výdrž baterie: 10 hodin
- Provozní teplota: -20 °C až +55 °C
- Vlhkost: 5% - 95% (nekondenzující)
- Majitel certifikátu: CE ATE20081634 002

Výhody:

- Kompaktní rozměry
- Nízká hmotnost
- Použitelný rozsah provozních teplot
- Použitelný rozsah provozní vlhkosti okolního vzduchu
- Integrovaná baterie
- Vysoká výdrž baterie
- Vysoký dosah odesílaného signálu udávajícího polohu

Nevýhody:

- Potřeba GPRS k přenosu signálu
- Přesnost GPS může být v některých situacích nedostatečná
- Obnovovací frekvence vysílaných informací

Vzhledem k vysokému intervalu obnovování informace o pohybu a možným ztrátám signálu v z důvodu nedostatečného pokrytí GPRS by bylo nutné umístit systém

automatického řízení přímo na palubu UAV, což by vedlo k navýšení spotřeby energie a hmotnosti.

Cena: 2 500 Kč

[7]

Sledovací zařízení M-100A

Jedná se o aktivní GPS sledovací modul. Princip funkce je stejný jako u výše zmíněného modelu TK-102B. To znamená, že zjištěná data jsou odesílána do PC pomocí GPRS sítě. Ovšem celkově se jedná o dokonalejší, ale také dražší model.



Obr. 5.2 – M-100A

Charakteristiky:

- Rozměry: 76mm x 44mm x 16mm
- Pásmo: 900 / 1800 MHz
- Sítě: GSM / GPRS

- GPS přesnost: do 5ti m
- Hmotnost: maximálně 85g
- Vnitřní paměť: Micro SD karta
- Provozní doba: 12 hodin
- Obnovovací frekvence: 10s
- Provozní teplota: 0 °C až +50 °C
- Obsahuje G-senzor

Výhody a nevýhody jsou téměř shodné s modelem TK-102B. Jak již bylo řečeno, jedná se o kvalitnější zařízení. Proto je přesnost a minimální obnovovací frekvence pro zobrazování pohybu nižší. Konkrétní minimální frekvence vysílaného signálu je u tohoto systému 10s. Je zde ale potřeba počítat s cca o 100% vyšší cenou.

Cena: 5 500 Kč

[8]

MGPS

Jedná se o komplexní specializovaný systém, založený na technologii mikro-elektronicko-mechanických systémů (Micro-Electro-Mechanical Systems – MEMS). Tento systém, kromě určování polohy pomocí GPS, je schopný také vypočítávat rychlost, výšku a vzdálenost od předem stanoveného místa. Pro záznam měřených dat je tento systém vybaven pamětí na přibližně 18 hodin nepřetržitého záznamu při četnosti jeden záznam za sekundu. Záznamy mohou být také ihned přeposílány na zem pomocí bezdrátového systému Duplex.

Hlavní výhodou tohoto systému, oproti sledovacím zařízením uvedeným výše, je přenos zjištěných dat, kdy není nutné využívat GSM sítě, ale přenos je uskutečňován prostřednictvím VF modulů. Další výhodou je určování výšky, směru a rychlosti letu.



Obr. 5.3 - MGPS

Charakteristiky:

- Rozměry: 50mm x 30mm x 12,5mm
- Hmotnost: 24g
- Doba záznamu: 18h 12min u 8MB verze
- Provozní teplota: -20 °C až 85 °C
- Obnovovací frekvence: 1s
- Napájecí napětí: 3,5 – 8,4 V
- Průměrná spotřeba: 40 mA
- Maximální spotřeba: 100 mA

Klady:

- Kompaktní rozměry
- Nízká hmotnost
- Nejlepší provozní teploty
- Možnost měření rychlosti letu, výšky letu a vzdálenosti od určitého místa
- Velice nízká obnovovací frekvence posílané informace (1s)
- Informace jsou odesílány prostřednictvím rádiových vln, nikoli prostřednictvím GPRS

Zápory:

- Potřeba telemetrických subsystémů k fungování tohoto senzoru (systém Duplex)
- Omezený dosah

Cena: 2 400 Kč

[9]

Částečné shrnutí:

| Název | Rozměry (v mm) | Hmotnost | Provozní teplota | Přenos signálu | Obnovovací frekvence | Dosah | Cena |
|----------------|-------------------|----------|---------------------|-------------------|-------------------------|-----------|-------------|
| TK-102B | 64 x 46 x 17 | 50g | -20 °C až 55 °C | GSM / GPRS | 20s | neomezený | 2 500 Kč |
| M-100A | 76 x 44 x 16 | 85g | 0 °C až 50 °C | GSM / GPRS | 10s | neomezený | 5 500 Kč |
| MGPS | 50 x 30 x 12,5 | 24g | -20 °C až 85 °C | Duplex | 1s | až 3 000m | 2 400 Kč |

Tab. 5.1

Na předchozích stránkách jsme si přiblížili 3 sledovací zařízení. Všechna fungují na stejném základním principu, jímž je využití GPS. I když se jejich rozměry a hmotnosti liší, můžeme je považovat u všech zařízení jako dostatečně kompaktní. Také provozní teploty jsou u všech v dostatečném rozsahu. Zařízení TK-102B a M-100A obsahují externí zdroj energie. To můžeme chápat jako výhodu, pomineme-li, že opět bude docházet k navyšování hmotnosti.

Ovšem stěžejní vlastností těchto systémů je přenos informací o letu na zem. V tomto segmentu má jednoznačně navrch systém MGPS. Obnovovací frekvence 20s u systému TK-102B je nedostatečná pro aktivní řízení ze země. Proto by bylo nutné umístit automatický systém řízení přímo na letoun, což by neúměrně zvedlo hmotnost a snížilo výdrž baterie. Obnovovací frekvence 10s, kterou disponuje systém M-100A můžeme považovat za dostatečnou, ale v určitých situacích by mohla činit nemalé problémy. Obnovovací frekvence u systému MGPS, která činí 1s, je více než uspokojivá.

Další stěžejní vlastností je přenos informace o poloze UAV na zem, konkrétně do pozemní stanice. Systémy TK-102B a M-100A využívají k tomuto účelu technologii GPRS, která je součástí sítě GSM. Výhodou je v podstatě neomezený dosah. Ovšem nevýhodou je nedostatečné pokrytí sítěmi GSM, především v řídky obydlených oblastech. V takovém případě by docházelo k úplným výpadkům spojení. To by byl problém především u systému M-100A, jelikož systém automatického řízení by byl v tomto případě umístěn v pozemní stanici. Systém MGPS využívá k přenosu informace o poloze rádiového signálu. Šíření tohoto signálu je velice spolehlivé a bez hrozby výpadků. Nevýhodou je omezený dosah rádiových vln. Ovšem tuto nevýhodu bude eliminovat spojovací UAV.

Velkou výhodou systému MGPS je poskytování informací o výšce letu a rychlosti letu. Tento systém by tudíž mohl sloužit jako záloha rychloměru a výškoměru.

Vycházejíc ze všech výše zmíněných informací, charakteristik a porovnání musím doporučit systém MGPS jako primární sledovací zařízení.

Vzhledem k tomu, že systém MGPS není schopen fungovat samostatně, ale pouze s dalšími subsystemy, zaměřím se proto na tyto systémy. Tyto subsystemy zapadají do kategorie telemetrických systémů.

5.2. Telemetrie

Telemetrie zahrnuje systémy, které jsou určeny pro monitorování a měření na dálku a dálkový přenos dat. Telemetrický systém, kterým se budu zabývat, nese název Duplex. S využitím tohoto systému je možné přenášet další užitečné informace týkající se provozních charakteristik AUV, jako jsou například informace o teplotě motoru, otáčkách motoru atd. .

Duplex

Jedná se o komplexní systém, vyvinutý za účelem dálkového řízení, který pracuje v pásmu 2,4 GHz a je plně digitální. Systém se skládá z několika částí. Jedná se o:

- Přijímací modul EX
- Vysílací modul EX
- Zobrazovací a programovací jednotku
- Softwarové vybavení Flight Monitor

Přijímací modul Duplex R14/R18 EX

Přijímací modul se stará o sběr telemetrických dat ze senzorů a jejich následnou distribuci do pozemní stanice. Přijímací modul může obsahovat až 4 antény, které lze rozmístit libovolně po celé ploše letounu. Dále tento systém umožňuje využití satelitních antén RSAT, které slouží jako záložní zdroj signálu pro případ, že by došlo k výpadkům nebo poklesům kvality signálu primárních vysílacích zařízení.

Samotné vysílání je prováděno prostřednictvím, v případě modelu R14 – čtrnácti kanálů, nebo v případě modelu R18 – osmnácti kanálů. Verzi modulu doporučuji vybrat v závislosti na počtu využívaných kanálů. Pro potřeby aerometrie a sledovacího zařízení by dostačoval model R14. V případě zapojení dalších systémů by bylo potřeba UAV osadit modelem R18. Naměřené údaje jsou poté odesílány do pozemní stanice v intervalech 1s.



Obr. 5.4 – Duplex R14 EX

Charakteristiky:

- Rozměry: 62mm x 38mm x 16mm
- Hmotnost: 30g
- Délka antény: standartně 2 x 400mm až
- Počet výstupních kanálů: R14: 14 ; R18: 18
- Provozní teplota: -10 °C až +85 °C
- Napájecí napětí: 3,2 V až 8,4 V
- Průměrná spotřeba: 40 mA
- Programování pomocí nástroje Jetibox
- Podporuje přijímačové satelity RSAT
- Maximální výstupní výkon: 20 dBm
- Citlivost přijímače: -106 dBm

Vysílací modul Duplex Tx

Jedná se o součást telemetrického systému, která je umístěna v pozemní stanici. Úlohou tohoto modulu je sběr a distribuce příchozích signálů a odesílání odchozích signálů.

Bohužel nemohu vybrat konkrétní typ modulu, jelikož neznám parametry pozemní stanice, což bude předmětem zkoumání v následujících projektech. Ovšem vysílací modul musí být kompatibilní s přijímacím modulem, ale také se zobrazovací a programovací jednotkou a softwarovým vybavením. Proto bych doporučil jeden z modulů řady Duplex Tx.

Všechny tyto moduly jsou s přijímací jednotkou kompatibilní a záleží pouze na konstruktérovi pozemní stanice, jaký modul zvolí.

Zobrazovací a programovací jednotka Jetibox profi

Zobrazovací a programovací jednotka Jetibox profi umožňuje bezdrátové prohlížení, ukládání a práci s telemetrickými daty. Je vybavena vysílacím modulem a proto jej může do určité míry suplovat. Zda-li vysílací modul nahradí úplně nebo ne, bude opět záležet na

konstruktérovi pozemní stanice. Každopádně zobrazovací a programovací jednotka je v navrhovaném telemetrickém systému nepostradatelná.

Kromě sběru, prohlížení a ukládání telemetrických dat slouží také k programování přijímacího modulu a všech jeho součástí, včetně vnějších senzorů a čidel (například systému MGPS).

Další výhodou tohoto systému je možnost propojení s počítačem a následné práce s daty. K tomu lze využít software, jenž nese název Flight monitor.



Obr. 5.5 – Jetibox profi

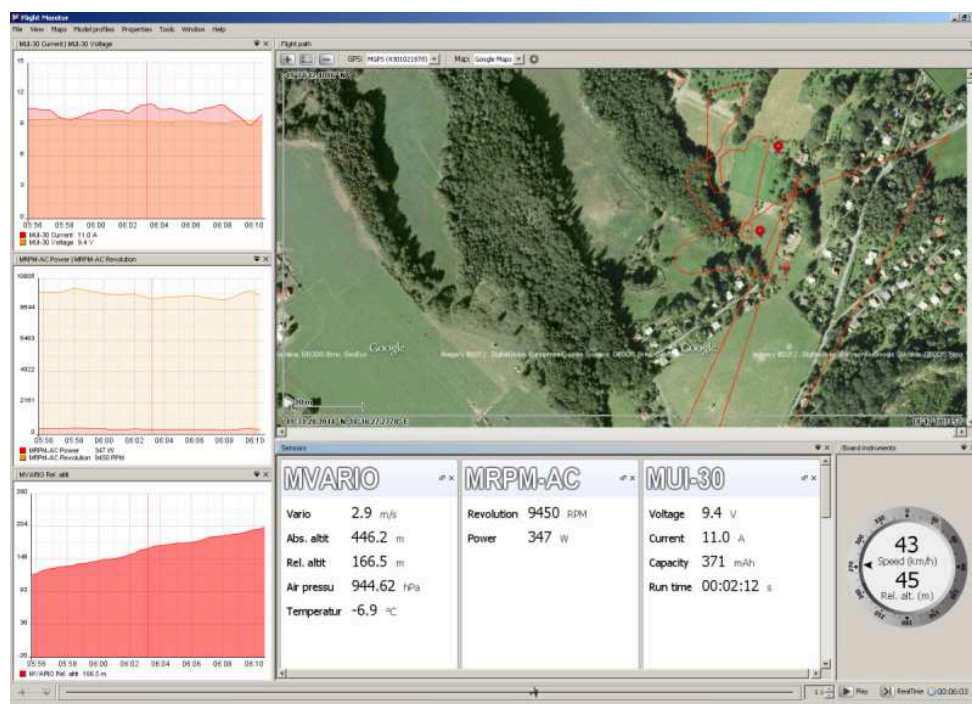
Charakteristiky:

- Rozměry: 113mm x 59mm x 21mm
- Hmotnost s baterií: 128g
- Napájení pomocí baterie, přes USB nebo pomocí ostatních vstupů
- Konektivita:
 - 2,4 GHz systém Duplex (pomocí integrované antény)
 - 3,5mm stereo audio jack
 - Mini-USB
 - Standardní 3-pinový JR konektor
- Paměť: 2GB

Softwarové vybavení Flight Monitor

Systém Duplex obsahuje jako nástavbu také softwarové vybavení. Tento software nese název Flight Monitor a je distribuován k systému Duplex Ex zdarma. Není záměrem této práce zkoumat softwarové řízení UAV, ale bylo by chybou se o tomto softwaru alespoň nezmínit.

Flight Monitor je schopen graficky zobrazit telemetrická data a následně s nimi pracovat. Data jsou zobrazována buď off-line, což znamená načtením telemetrických dat ze záznamu, nebo online, kdy jsou telemetrická data zobrazována v reálném čase. Toho docílíme napojením PC se softwarem Flight Monitor na zobrazovací a programovací jednotku Jetibox profi nebo na vysílací modul.



Obr. 5.6 – Flight monitor

Tento program by mohl v budoucnu sloužit jako základ rozsáhlejšího systému automatického řízení. Bylo by ovšem potřebné výstupy dále zpracovávat.

Telemetrický systém jako celek má dosah cca. 3 000 m. Tento dosah bude prodloužen spojovacím UAV. V případě, že by, v závislosti na rozloze prohledávaného území nebyl dostatečný, byl by nutný zásah do konstrukce telemetrického systému a zvýšení jeho výkonu, nebo nasazení více jednotek spojovacích UAV. [9]

5.2.1. Cenový výstup sledovacího a telemetrického systému

Je potřeba zmínit, že se jedná o orientační ceny, které se mohou lišit v rámci několika desítek korun až sto korun českých v závislosti na jednotlivých prodejcích.

| Výrobek | Cena | |
|------------------------|-------------------|---------------|
| MGPS | 2 400 Kč | |
| Přijímací modul Duplex | R14 - 3350 Kč | R18 - 4150 Kč |
| Vysílací modul Duplex | 2 000 - 2500 Kč * | |
| Jetibox profi | 4 150 Kč | |
| Flight Monitor | Zdarma | |

Tab. 5.2

*Cena se liší v závislosti na vybraném modelu.

V následujícím výpočtu přibližné ceny sledovacího zařízení a kompletní telemetrie budu předpokládat zakoupení přijímacího modulu Duplex R14 a cenu vysílacího modulu stanovím jako průměrnou hodnotu, tudíž 2250 Kč.

$$2400 + 3350 + 2250 + 4150 = \underline{\underline{12\ 150}}$$

Cena kompletního systému telemetrie společně se sledovacím zařízením je stanovena na 12 150 Kč. Tato cena se vztahuje k systémovému vybavení jednoho UAV.

Systém, tak jak je teď navržen, je schopen snímat polohu, rychlost a výšku UAV. S využitím telemetrického systému je schopen naměřené údaje distribuovat v reálném čase do pozemní stanice.

Kapacita telemetrického systému je dostatečná i pro přenos aerometrických údajů, které budou měřeny přístroji fungujícími na klasické bázi, jako je rychloměr fungující na bázi pitotovy trubice nebo výškoměr fungující na bázi uzavřených baro-komor. Jelikož mohou být údaje naměřené senzorem MGPS nepřesné, především ve ztížených meteorologických podmínkách, budu se na dalších stranách zaměřovat na aerometrické přístroje.

5.3. Aerometrické systémy

Aerometrické systémy jsou takové systémy, které měří základní pohybové parametry, týkající se letu samotného letounu. Aerometrických systémů v dnešní době existuje velmi mnoho. Vzhledem k omezené nosnosti UAV budeme uvažovat jen s využitím základních aerometrických systémů, kterými jsou:

- Rychloměr
- Výškoměr
- Variometr

V dnešní době je možno tyto systémy suplovat zařízeními pracujícími na bázi GPS. Výhodou takovýchto zařízení je nízká hmotnost a velice kompaktní rozměry. Bohužel jejich využití by mohlo být velice problematické, vzhledem ke specifickým podmínkám letu v atmosféře, kdy například pro letící letoun není důležitá rychlost vůči zemi (Ground Speed – GS), ale indikovaná vzdušná rychlost (Indicated Airspeed – IAS) nebo indikovaná výška počítaná GPS, by nebyla schopna operovat s aktuální QNH a tudíž by nebylo možno dostatečně přesně koordinovat bezpečné operační výšky vzhledem k okolnímu leteckému provozu.

Z důvodů, jež jsou uvedeny výše, všechny aerometrické systémy navržené v této práci, pracují na klasických, ověřených principech aerometrických přístrojů, jimiž jsou především pozorování a vyhodnocování změn a porovnávání různých barometrických údajů.

Následně opět uvedu a charakterizuji několik vybraných systémů, určím jejich klady a zápory a nakonec doporučím ten systém, který bude nejvýhodnější.

5.3.1. Výškoměr a variometr

Klasické výškoměry v dnešních letounech jsou pro použití v UAV, které mají omezenou nosnost a prostornost určenou těmito přístroji, příliš těžké a nekompatibilní. Pro naše využití se nabízely zejména dvě kategorie výškoměrů. Tou první byly čistě elektronické výškoměry, pracující převážně na bázi GPS. Jejich přesnost byla ovšem ve srovnání s barometrickými výškoměry špatná. Proto jsem se zaměřil právě na verze barometrických výškoměrů. Tyto výškoměry, díky technologii MEMS, dosahují miniaturních rozměrů a byť nejsou tak přesné, jako jejich plnohodnotné alternativy, k využití na UAV více než dostačující. Tyto systémy pracují na rozdílném principu než klasické výškoměry, kdy využívají mikroprocesoru a aktuální výšku vypočítávají s využitím údajů o změně okolního tlaku. To jim umožňuje fungovat také jako variometry a v podstatě všechny níže uvedené systémy funkci variometru mají.

Výstupní informace mohou být interpretovány, v závislosti na systému, několika způsoby. Nejpoužívanější je akustická indikace, což pro naše účely není optimální. V takovém případě by muselo dojít k přeprogramování a úpravě výstupu do použitelné formy. Další možností je výstup vizuální, který je pro nás nejpřípustnější. Výstupní informace jsou v tomto případě zobrazovány na displeji.

MVario EX

Jedná se o systém kompatibilní s telemetrickým systémem Duplex. Proto by nebylo potřeba využívat žádnou další síť k přenosu naměřených informací. Výstup systému je vizuální, prostřednictvím zobrazovací a programovací jednotky Jetiboxu. Prostřednictvím Jetiboxu může být informace distribuována rovnou do PC, který s ní může dále pracovat. Tento systém obsahuje jak výškoměr, tak variometr.



Obr. 5.7 – MVario EX

Charakteristiky:

- Rozměry: 20mm x 11mm x 5mm
- Hmotnost (s vodiči): 6g
- Přesnost měření absolutní / relativní výšky: $\pm 9\text{m}$ / $\pm 3\text{m}$
- Rozsah měření: 300 ÷ 1100 hPa
- Provozní teplota: -10 °C až 85 °C
- Napájecí napětí: 3,5 V ÷ 8,4 V
- Spotřeba: 6mA

Klady:

- Kompatibilní s telemetrickým systémem Duplex
- Rozměrově a hmotnostně velice kompaktní

- Více než dostatečný rozsah měření

Zápory:

- Přesnost měření absolutní výšky
- Minimální provozní teplota, zejména v zimních měsících, může být nedostatečná

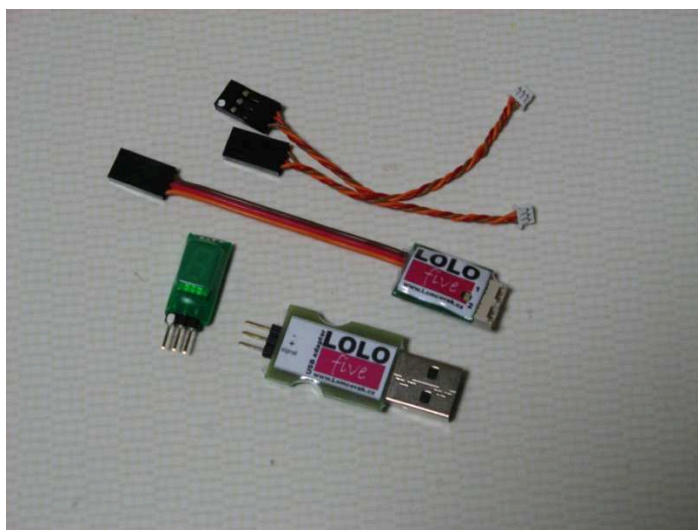
Cena: 1 450 Kč

[9]

LOLO5

Systém fungující na stejném principu jako předchozí MVario EX. Také obsahuje jak výškoměr, tak variometr a je kompatibilní s telemetrií Duplex a výstupní informace jsou zobrazovány na zobrazovací a programovací jednotce Jetibox. Systém také zaznamenává okolní teplotu a napětí baterie ze které je napájen.

Výroba tohoto systému byla ukončena v únoru roku 2011. Jistě by nebyl problém sehnat jednotlivý systém. Ovšem pro naše použití, bychom takových-to systému potřebovali 6. To by mohlo představovat vážný problém. Podle webových stránek výrobce by měl být tento systém stále na skladě, ale vzhledem k dlouhodobě neaktualizované informaci, nemusí být toto sdělení nadále pravdivé.



Obr. 5.8 – LOLO5

Charakteristiky:

- Rozměry: 23mm x 15mm x 7mm
- Hmotnost (s vodiči): 3g
- Přesnost měření absolutní / relativní výšky: $\pm 8\text{m}$ / $\pm 2,5\text{m}$ (Podle měření v tlakové komoře je odchylka na výšku 300m +4m.)
- Maximální funkční dostup: 5 000m
- Provozní teplota: $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $75\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Napájecí napětí: $3,3\text{ V} \div 9,9\text{ V}$
- Spotřeba: 7mA
- Rozlišení varia: 0,1 m/sec

Klady:

- Nejkompaktnější ze všech systémů
- Kompatibilní s telemetrickým systémem Duplex
- Přesné měření
- Dostatečný dostup
- Měření i jiných údajů (teplota, napětí, výchylky serva)

Zápory:

- Ukončená výroba
- Vyšší cena

Cena: 3 200 Kč

[10]

M-FLY Air

Na rozdíl od předcházejících systémů MVario EX a LOLO5 funguje systém M-FLY Air zcela samostatně. Informace jsou odesílány v pásmu 433MHz a není kompatibilní s telemetrickým systémem Duplex. Systém opět funguje jako výškoměr a variometr. Kromě určování výšky a rychlosti stoupání / klesání je přenášen i údaj o napájecím napětí. Systém

obsahuje vnitřní paměť EEPROM (Elektricky mazatelná semipermanentní paměť – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory), která je schopna pojmout přibližně 4,5 hodin záznamu při periodě zápisu 1s. Ovšem dají se pořídit i verze bez EEPROM.

Součástí systému jsou vysílač se senzory a přijímač, který zobrazuje žádané údaje vizuálně, prostřednictvím dvouřádkového alfanumerického displeje. Lze nastavit také akustické alarmy, které se aktivují po překročení předem nastavených limitů.



Obr. 5.9 – M-FLY Air

Charakteristiky:

- Rozměry vysílače: 30mm x 50mm x 10mm
- Hmotnost vysílače: 10g
- Výškové rozlišení: 1m
- Rozlišení stoupavosti / klesavosti: 0,1 m/s
- Maximální funkční dostup: 5 500m
- Provozní teplota: -10 °C až 50 °C
- Napájecí napětí vysílače: 3,8 V ÷ 12 V
- Spotřeba vysílače: 9 mA

- Vysílací frekvence: 433 MHz, prostřednictvím čtyř kanálů
- Vysílací výkon: 10 dBm
- Dosah: cca. 1000 m

Klady:

- Nejpřesnější ze systémů

Zápory:

- Není kompatibilní s telemetrickým systémem Duplex.
- Rozměrově největší.
- V porovnání s telemetrickým systémem Duplex má nižší dosah.
- Vysoká cena.

Cena: 5 990 Kč – s 64 kB EEPROM

4 990 Kč – bez EEPROM

[11]

Částečné shrnutí:

Na předchozích stranách jsme si představili 3 různé systémy, které jsou určeny k měření výšky letu a rychlosti stoupání / klesání. Všechny tyto systémy pracují na stejném základu, jímž je využití barometrických čidel a mikroprocesoru k výpočtu výšky a rychlosti stoupání / klesání.

| Název | Rozměry (v mm) | Hmotnost | Provozní teplota | Přenos signálu | Přesnost měření | Funkční dostup | Spotřeba | Cena |
|--------------|-------------------|----------|---------------------|----------------------|--------------------|-------------------|----------|----------|
| MVario EX | 20 x 11 x 5 | 6g | -10 °C až 85 °C | Duplex | ±3m | 6 500m | 6mA | 1 450 Kč |
| LOLO5 | 23 x 15 x 7 | 3g | -10 °C až 75 °C | Duplex | ±2,5m | 5 000m | 7mA | 3 200 Kč |
| M-FLY Air | 30 x 50 x 10 | 10g | -10 °C až 50 °C | vlastní - 433 MHz | ±1m | 5 500m | 9mA | 4 990 Kč |

Tab. 5.3

Přesnost výstupních údajů se u jednotlivých systémů liší. Ale i u systému MVario EX, který je nejméně přesný, měřené hodnoty sledávám jako dostatečně přesné a pro naše využití použitelné.

Problém by mohly představovat hodnoty provozních teplot. Především minimální hranice pro použití, která je u všech tří systémů stanovena na -10 °C. Tento problém by bylo možné řešit vytápěním, ať už aktivním či pasivním. Aktivní vytápění by mohlo být realizováno pomocí topného tělíska, napojeného na zdroj. Zde by ovšem docházelo k vybíjení baterie. Pasivně by mohl být senzor ohříván, v případě použití spalovacího motoru, přímo od motoru. Další možností je vložení pasivního topného tělesa do prostoru výškoměru. Toto topné těleso by bylo nahřáto na zemi a mezi jednotlivými lety vyměňováno. Nevýhodou všech těchto řešení je mírné zhoršení charakteristik přesnosti měření.

Nejvýraznějším funkčním rozdílem mezi těmito systémy je forma distribuce informace mezi letounem a pozemní stanicí. První dva systémy využívají v UAV přítomného telemetrického systému Duplex. Systém M-FLY Air operuje s vlastním zprostředkovatelem signálu. Nejenže jeho dosah je horší než u systému Duplex, ale jeho přítomnost se promítne do celkové ceny.

Cenově se od sebe jednotlivé systémy velice liší. Předem je nutné si uvědomit, co od systému požadujeme a co je jeho přidaná hodnota. Dále jakou sumu za tuto přidanou hodnotu zaplatíme. Požadavkem je pouze měření výšky a rychlosti stoupání / klesání. Toto splňují všechny tři systémy. U systému LOLO5 je přidanou hodnotou mírně přesnější měření a možnost monitorovat okolní teplotu a napětí. Za tuto přidanou hodnotu bychom zaplatili na jedno UAV cca 1 700 Kč. Přidaná hodnota systému M-FLY Air je zase o něco přesnější měření a přenos informace o napětí, ale především vlastní distribuční systém signálu, který nepotřebujeme. Za tuto přidanou hodnotu bychom zaplatili na jedno UAV 3 500 Kč pro systém bez EEPROM.

Vycházím-li ze srovnání, požadavky splňují všechny tři systémy. Nejvýrazněji se od sebe liší právě distribucí signálu a cenou. Bylo by nesmyslné nevyužít volných kapacit telemetrického systému Duplex a ještě za to platit. Cenový rozdíl mezi systémem LOLO5 je také příliš velký na jeho přidanou hodnotu.

Proto musím doporučit, jako primární výškoměr a variometr systém MVario EX.

5.3.2. Rychloměr

Rychloměr fungující na klasickém principu je pro UAV nepostradatelným systémem. Samozřejmě jsme schopni měřit rychlost pomocí systému MGPS. Tato rychlost je ovšem měřena pomocí GPS a nepočítá s meteorologickými údaji. To znamená, že je počítána pouze GS. Provoz vyhledávacích UAV ve zhoršených meteorologických podmínkách, především v silnějším větru by byl proto velice problematický. Je tedy nutno UAV osadit rychloměry, fungujícími na barometrických principech. Tedy na principech měření dynamického a statického tlaku. Opět se jedná o přístroje využívající MEMS technologii. Jak již bylo řečeno, je snímán dynamický a statický tlak. Naměřené údaje jsou dále pomocí mikroprocesoru zpracovávány a převáděny na údaj IAS. Pitotovu trubici je nutno umístit mimo proud vzduchu vrtule.

Dále opět uvedu několik systému, kterými by bylo možné UAV osadit. Na rozdíl od předchozího systému výškoměru a variometru se mi nepovedlo najít systém, který by byl nezávislý a fungoval samostatně.

Spektrum Air

Jedná se o systém, využívající pitotovy trubice a s tím spojené měření a porovnávání tlaků. Tento systém není kompatibilní s telemetrickým systémem Duplex. Pro přenos informací využívá vlastního podsystému, jež nese název TM 1000. V případě zabudování Spektrum Air do UAV by bylo potřeba dosadit také systém TM 1000.



Obr. 5.10 – Spektrum Air

Charakteristiky:

- Rozměry (bez pitotovy trubice): 28mm x 16mm x 10mm
- Hmotnost: 3g
- Rozsah měření: 20 až 560 km/hod
- Provozní teplota: 0 °C až 80 °C
- Napájecí napětí: 3,5 V ÷ 9,6 V
- Spotřeba: 11 mA

Klady:

- Kompaktní rozměry a hmotnost
- Dostatečný rozsah měření

Zápory:

- Nekompatibilita se systémem Duplex
- Nízká minimální provozní teplota

Cena senzoru: 1 700 Kč

Cena TM 1000: 2 750 Kč

Celková cena: 4 450 Kč

[12]

MSPEED EX

Systém je kompatibilní s telemetrickým systémem Duplex. Měřené informace jsou poté zobrazovány na zobrazovací a programovací jednotce Jetibox. Další funkcí je nastavení akustického alarmu, který je aktivován při překročení různých, předem stanovených limitů. Tento systém opět měří IAS. MSPEED EX se skládá z pitotovy trubice a senzoru relativního tlaku, který je s pitotovou trubicí spojen silikonovými hadičkami.



Obr. 5.11 – MSPEED EX – Pitotova trubice



Obr. 5.12 – MSPEED EX

Charakteristiky:

- Rozměry (bez pitotovy trubice): 22mm x 25mm x 13mm
- Hmotnost (kompletní): 21g
- Přesnost: 5 km/h
- Rozsah měření: 20 až 350 km/h
- Provozní teplota: 0 °C až 85 °C

- Napájecí napětí: 3,5 V ÷ 8,4 V
- Spotřeba: 10 mA

Klady:

- Kompaktní rozměry a hmotnost
- Dostatečný rozsah měření
- Dostatečná přesnost
- Kompatibilní s telemetrickým systémem Duplex

Zápory:

- Nízká minimální provozní teplota

Cena: 1 500 Kč

[9]

Částečné shrnutí

| Název | Rozměry (v mm) | Hmotnost | Rozsah měření | Provozní teplota | Přenos signálu | Spotřeba | Cena |
|-----------------|-------------------|----------|-------------------|---------------------|-------------------|----------|--------------------------|
| Spektrum Air | 28 x 16 x 10 | 3g | 20 až 560 km/h | 0 °C až 80 °C | TM 1000 | 11 mA | 1 700 Kč / 4 450 Kč * |
| MSPEED EX | 22 x 25 x 13 | 5g | 20 až 350 km/h | 0 °C až 85 °C | Duplex | 10 mA | 1 500 Kč |

Tab. 5.4

*Cena včetně systému TM 1000

Jak systém Spektrum Air tak MSPEED EX pracují na stejném principu a jejich přesnost je téměř totožná. Jediným výrazným rozdílem je distribuce signálu do pozemní stanice. Opět, vzhledem k tomu, že naše UAV budou obsahovat telemetrii Duplex, považují za výhodné toho využít a proto musím doporučit dosazení systému, který je s telemetrií Duplex kompatibilní. Tedy rychloměr MSPEED EX.

Na předchozích stranách jsem se zabýval základními avionickými systémy, které jsou nutné pro provedení letu. Aby došlo k plnému využití telemetrického systému Duplex, můžeme zbylé volné kanály tohoto systému využít pro přenos dodatečných informací, které nejsou nezbytné pro provedení samotného letu. Na následujících stranách proto vyberu některé ze senzorů, které jsou s telemetrickým systémem Duplex kompatibilní.

5.3.3. Přídavné avionické systémy

Otáčkoměr - MRPM EX

Systém používající se k měření otáček všech typů motorů. Měření je prováděno pomocí optického čidla. Naměřené hodnoty jsou prostřednictvím telemetrického systému Duplex ihned posílány na zem a zobrazovány na zobrazovací a programovací jednotce Jetibox.

Charakteristiky:

- Rozměry: 19mm x 14mm x 4mm
- Hmotnost: 6g
- Přesnost měření: 10 ot. / min.
- Provozní teplota: -10 °C až 85 °C
- Napájecí napětí: 3,5 V ÷ 8,4 V
- Spotřeba: 10 mA

Cena: 670 Kč

Měřič provozních teplot - MT 300 EX

Systém je určen k měření provozních teplot UAV. Například motorů, akumulátorů, regulátorů. Systém se skládá ze dvou částí. Jednou je samotný modul MT, který slouží ke sběru dat a je připojen k přijímači telemetrického systému Duplex. Druhou částí jsou

samotná čidla. Tento systém obsahuje dvě čidla a umožňuje nastavit zvukový alarm, který je aktivován při překročení předem stanovených limitů.

Charakteristiky:

- Rozměry: 19mm x 14mm x 4mm
- Hmotnost (včetně všech čidel): 6g
- Rozsah měřené teploty: -40 °C až +300 °C
- Přesnost měření: 5%
- Provozní teplota: -10 °C až 85 °C
- Napájecí napětí: 3,5 V ÷ 8,4 V
- Spotřeba: 20 mA

Cena: 850 Kč

Elektroindikace - MUI 200 EX

Systém je určen k měření napětí, proudu a vyčerpané kapacity baterií. Systém také umožňuje nastavení zvukového alarmu.

Charakteristiky:

- Rozměry: 29mm x 19mm x 11mm
- Hmotnost: 25g
- Rozsah měřeného napětí: 0V – 60V
- Rozsah měřeného proudu: 0A – 200A
- Přesnost měření napětí / proudu: 0,1% / 1%
- Provozní teplota: -10 °C až 85 °C
- Napájecí napětí: 5 V ÷ 8,4 V
- Spotřeba: 24 mA

Cena: 1 100 Kč

Na přijímač telemetrického systému Duplex lze připojit maximálně 4 senzorové systémy. V našem případě jsou nepostradatelné systémy 3. Jedná se o sledovací systém,

výškoměr / variometr a rychloměr. Výše jsem uvedl 3 další systémy, které by bylo možné dosadit. Dosazení těchto přídatných systému bude záviset především na kapacitě baterie. Baterie by neměla být vyčerpána příliš rychle. Vzhledem k tomu, že není předmětem této práce navrhovat a studovat možnosti zdrojů, bude rozhodnutí o dosazení těchto přídatných systému záviset na konstruktérovi samotného UAV.

Jak již bylo zmíněno, na samotný vysílač telemetrického systému Duplex lze připojit maximálně 4 senzorové systémy. Pokud by bylo potřeba připojit systémů víc, je nutné osadit přijímač systému Duplex expandérem, který umožňuje napojení většího množství senzorových systémů.

Expander E4 EX

Expander E4 EX obsahuje další 4 výstupy, pro připojení senzorových systémů. To znamená, že pokud by mělo dojít k zapojení pěti a více senzorových systémů, je nutné telemetrický systém Duplex rozšířit o Expander E4 EX.

Charakteristiky:

- Rozměry: 36mm x 20mm x 5mm
- Hmotnost: 4g
- Provozní teplota: -10 °C až 85 °C
- Napájecí napětí: 3,2 V ÷ 8,4 V
- Spotřeba: 8 mA

Cena: 670 Kč

[9]

5.4. Cenový výstup avionických systémů

V této kapitole shrnu celkový cenový výstup avionických systémů, které budou používány na všech UAV. To znamená na čtyřech UAV provádějících hledávání, jednom spojovacím UAV a jednom UAV provádějícím bližší průzkum podezřelé oblasti. Vzhledem

k tomu, že doporučuji i systémy, které nejsou pro provoz UAV nutné a jejichž osazení bude záležet na konstruktérech jednotlivých letounů, bude uvedeno cenové rozmezí, kde minimální hodnota odpovídá ceně kompletní avioniky bez těchto systémů a maximální hodnota odpovídá ceně kompletní avioniky všech výše uvedených a doporučených systémů.

Cenový výstup avioniky všech UAV

| Systém | Telemetrický systém | Sledovací zařízení | Výškoměr / variometr | Rychloměr | Přídavné systémy | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------|----------------------|-----------|------------------|-----------|------------|----------------|
| | Duplex | MGPS | MVario EX | MSPEED EX | MRPM EX | MT 300 EX | MUI 200 EX | Expander E4 EX |
| Cena (v Kč) | 12 150 | 2 400 | 1 450 | 1 500 | 670 | 850 | 1 100 | 670 |
| Počet UAV | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Celkem za systém (v Kč) | 72 900 | 14 400 | 8 700 | 9 000 | 4 020 | 5 100 | 6 600 | 4 020 |
| Celkem | 105 000 Kč až 124 740 Kč | | | | | | | |

Tab. 5.5

Opět je nutno poznamenat, že ceny se u jednotlivých prodejců mohou lišit. Rozdíl jednotlivých cen bývá maximálně v rozmezí 10%. Ceny uvedené zde jsou cenami lehce podprůměrnými.

5.5. Hmotnost avionických systémů

Vzhledem k tomu, že jednotlivá UAV mají omezenou nosnost, je údaj celkové hmotnosti avionických systémů velice důležitý. Na základě této informace budou navrhovány další systémy, které je potřeba na palubu umístit. Jedná se tudíž o hmotnostní kalkulaci pro jednotlivé prostředky systému UAV.

| Systém | Telemetrický systém | Sledovací zařízení | Výškoměr / variometr | Rychloměr | Přídavné systémy | | | |
|------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|-----------|------------------|-----------|------------|----------------|
| | DUPLEX | MGPS | MVario EX | MSPEED EX | MRPM EX | MT 300 EX | MUI 200 EX | Expander E4 EX |
| Hmotnost systému (v g) | 30 | 24 | 6 | 21 | 6 | 6 | 25 | 4 |
| Celková hmotnost | 81 g až 122 g | | | | | | | |

Tab. 5.6

5.6. Spotřeba elektrické energie avionickými systémy

Důležitou charakteristikou avionického systému jako celku je spotřeba elektrické energie systémy umístěnými na palubě UAV. Tento údaj je důležitý především pro konstruktéry jednotlivých letounů, na jejichž základě se mohou rozhodnout, který z přídavných avionických systémů do UAV dosadit a posléze spočítat výdrž UAV.

Celková spotřeba bude opět uvedena v rozmezí, kde minimální hodnota odpovídá spotřebě kompletní avioniky bez přídavných systémů a maximální hodnota odpovídá spotřebě kompletní avioniky obsahující všechny doporučené systémy.

| Systém | Telemetrický systém | Sledovací zařízení | Výškoměr / variometr | Rychloměr | Přídavné systémy | | | |
|-------------------------|---------------------|--------------------|----------------------|-----------|------------------|-----------|------------|----------------|
| | Duplex | MGPS | MVario EX | MSPEED EX | MRPM EX | MT 300 EX | MUI 200 EX | Expander E4 EX |
| Spotřeba systému (v mA) | Ø 40 | Ø 40 | 6 | 10 | 10 | 20 | 24 | 8 |
| Celková spotřeba | 96 mA až 158 mA | | | | | | | |

Tab. 5.7

6. Algoritmus spolupráce avionických systémů

Algoritmus je záměrně vytvořený, přesně definovaný postup, který je vytvářen za účelem efektivního vyřešení předem stanoveného problému a dosažení požadovaného cíle. Pokud budeme tento postup vykonávat, dosáhneme po určité době požadovaného výsledku, aniž by docházelo ke zbytečným zdržením. Každý algoritmus má předem stanovený počet kroků. Algoritmy se v dnešní době používají především v informatice a přírodních vědách obecně, ale uplatnění mohou algoritmy nalézt v téměř jakékoli oblasti lidského působení. Jistou formou algoritmu je například kuchařský recept.

Všechny algoritmy obsahují určité vlastnosti. Těmito vlastnostmi jsou:

- Konečnost – každý algoritmus musí obsahovat konečný počet kroků.
- Hromadnost a univerzálnost – algoritmus neřeší jeden konkrétní problém, ale obecnou třídu všech problémů, se kterými se při postupu setká.
- Jednoznačnost (determinističnost) – jednotlivé kroky algoritmu a jejich návaznosti jsou přesně definovány.
- Korektnost – algoritmus skončí pro libovolná data, která jsou korektní, správným výsledkem v konečném množství kroků.

[3,13,14,15]

6.1. Tvorba algoritmu

Při tvorbě algoritmu vycházíme z předem stanovených podmínek – vstupních podmínek. Máme také definovány cílové požadavky. Úkolem algoritmu je přeměnit vstupní podmínky tak, aby byly splněny cílové požadavky. Algoritmus bude dle předem stanovených postupů přetvářet krok po kroku vstupní podmínky a zastaví se v okamžiku, kdy bude proveden přesně stanovený počet kroků a bude dosaženo cílových požadavků. Tento postup bude vyjádřen pomocí vývojového diagramu.

7. Návrh algoritmu spolupráce avionických systémů

Na následujících stranách se budu zabývat návrhem algoritmu, jehož cílem bude, za pomoci avionických systémů, provést požadovaný let vyhledávacího UAV.

Let samotný bude řízen sledem několika na sebe navazujících algoritmů. Každý z algoritmů bude provádět určitou část letu. V okamžiku kdy dojde k ukončení jednoho algoritmu, ihned jej nahradí algoritmus následující. Algoritmy budou řízeny buď automaticky nebo člověkem (pilotem).

Jak již bylo napsáno výše, let samotný je rozdělen do několika fází. To znamená:

- Vzlet a navedení na výchozí pozici pro systém automatického řízení – tato část letu je prováděna ručně, to znamená pilotem.
- Vyčkávání po provedení vzletu – pilot navede UAV do výchozí pozice pro samotný let do prohledávané oblasti. Je ovšem potřeba, aby UAV v tomto bodě bylo schopno vyčkávat a čekat na signál od operátora k provedení dalšího letu – tato část bude obsluhována automaticky.
- Let z výchozí pozice do výchozího bodu pro vyhledávání – tato část letu je řízena automaticky.
- Vyhledávací let (1. až 3. fáze) – tato část letu je řízena automaticky.
- Zpáteční let – tato část letu je řízena automaticky.
- Přistání – je prováděno ručně, to znamená pilotem.

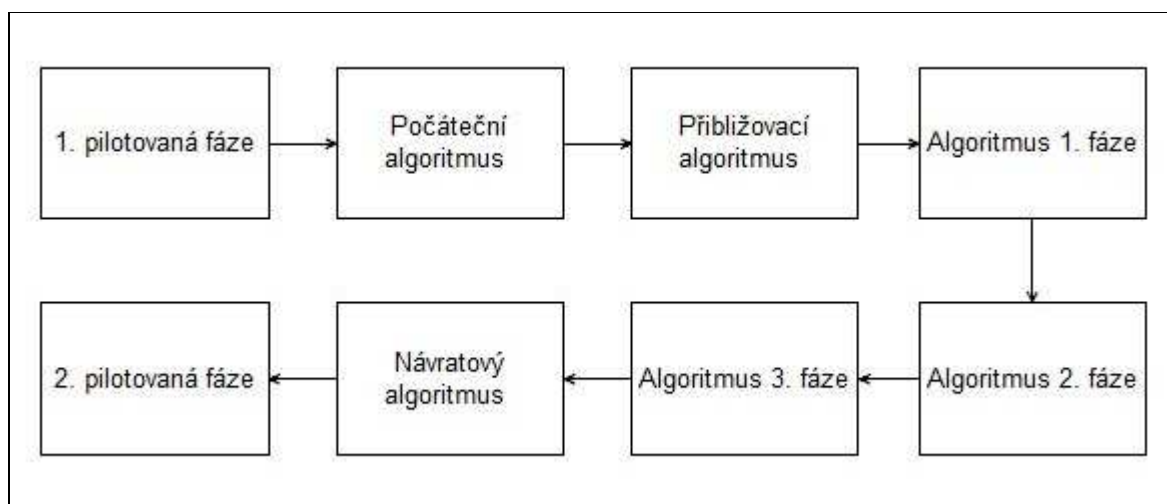
Jak je z výše uvedeného zřejmé, samotný let bude prováděn pomocí šesti nebo maximálně osmi na sebe navazujících algoritmů. Kolik fází samotného vyhledávacího letu bude potřeba záleží na úspěšnosti nalezení hledaného objektu.

Pro větší přehlednost jednotlivé algoritmy pojmenuji. Na dalších stranách se proto budu moci na konkrétní algoritmus odkázat jednoduchým slovním spojením a ne prostřednictvím složitého popisu, který by udával o jakou fázi letu se jedná.

| | Popis algoritmu | Název algoritmu/ fáze letu |
|---|---|-------------------------------|
| 1 | Vzlet a navedení UAV do výchozí pozice SAŘ | 1. pilotovaná fáze |
| 2 | Algoritmus udržující UAV ve vyčkávání po provedeném vzletu | počáteční algoritmus |
| 3 | Algoritmus řídící část letu: výchozí pozice SAŘ -> výchozí pozice pro vyhledávání | přibližovací algoritmus |
| 4 | Algoritmus řídící první fázi vyhledávání (let ve výšce 300m) | algoritmus 1. fáze |
| 5 | Algoritmus řídící druhou fázi vyhledávání (let ve výšce 200m) | algoritmus 2. fáze |
| 6 | Algoritmus řídící třetí fázi vyhledávání (let ve výšce 80m) | algoritmus 3. fáze |
| 7 | Algoritmus řídící zpáteční let | návratový algoritmus |
| 8 | Přiblížení na přistání a přistání | 2. pilotovaná fáze |

Tab. 7.1

Cílem všech výše uvedených algoritmů je navést prostředek UAV z výchozí pozice do cílové pozice po námi požadované trase. Jednotlivé algoritmy na sebe musejí navazovat. Konec každého algoritmu, vyjma algoritmů řízených pilotem, bude obsahovat prvek, jehož účelem je udržovat UAV ve vyčkávání na předem stanovené pozici až do doby, kdy dojde k aktivaci následujícího algoritmu operátorem, nebo až bude, v případě návratového algoritmu, ukončen přímo pilotem.



Obr. 7.1 – Schéma kompletního algoritmu

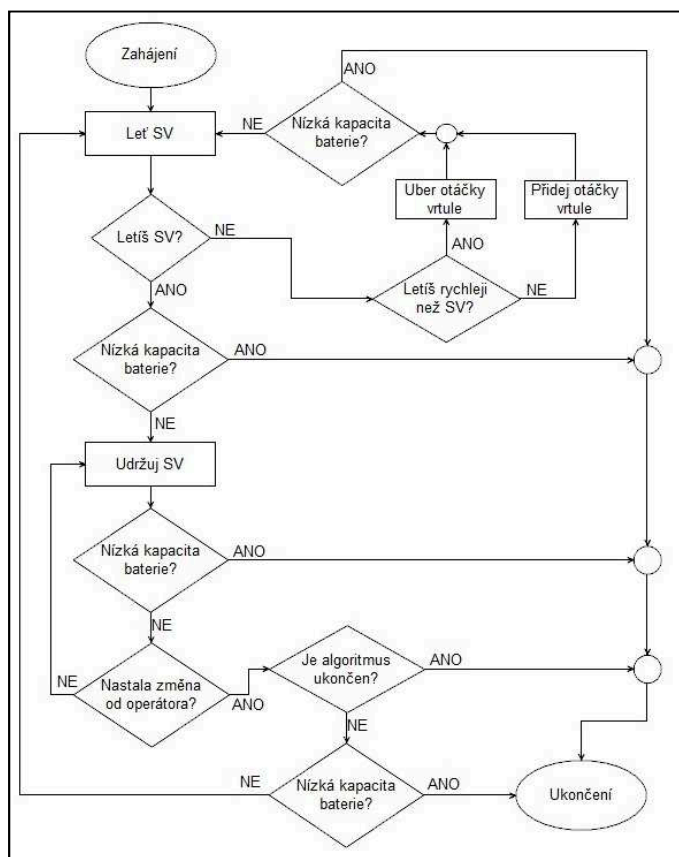
| | | |
|--|--|--|
| | | |
|--|--|--|

| trati. |

zpět na základnu.

7.1. Dílčí algoritmy (podprogramy):

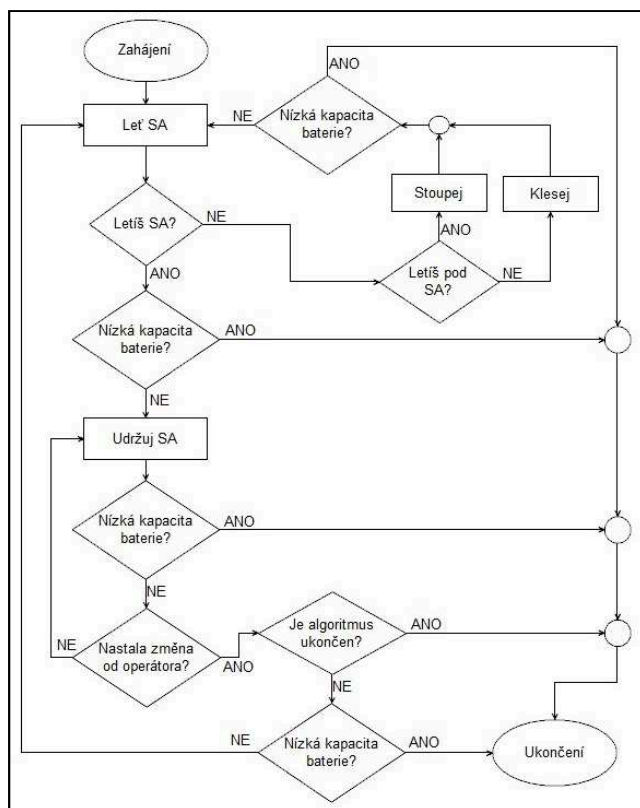
Dílčí algoritmus řídící rychlost letu:



- Dílčí algoritmus je tvořen dvěma okruhy. První okruh má za úkol urychlit/zpomalit letoun na stanovenou rychlost. Druhý okruh má za úkol udržovat stanovenou rychlost.
- Operátorem je zde myšlen jak člověk, tak SAŘ.
- Operátor/SAŘ může změnit buď rychlost letu, nebo algoritmus ukončit.
- Algoritmus obsahuje pojistku pro případ vybití baterie.

Obr. 7.2 – Vývojový diagram řízení rychlosti letu

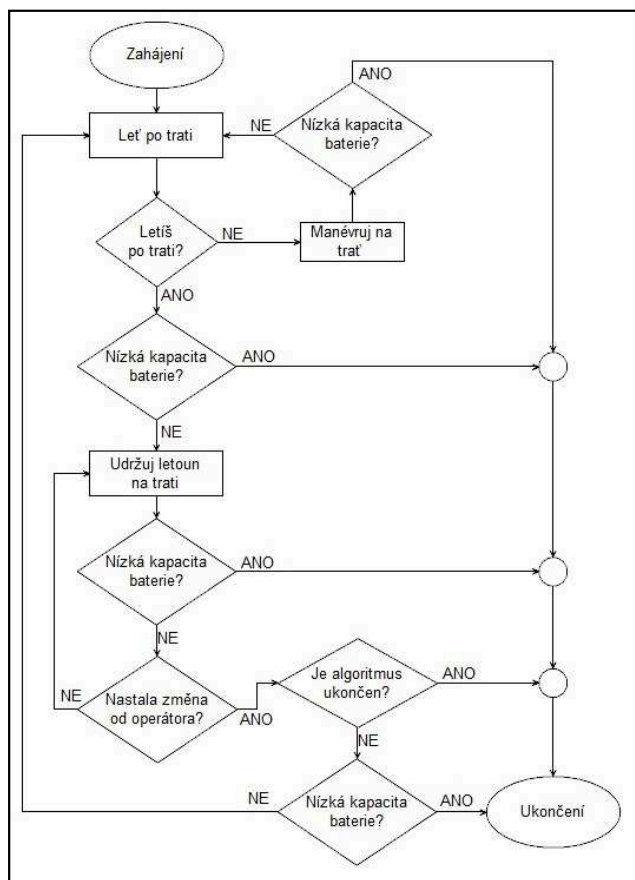
Dílčí algoritmus řídicí výšku letu:



Obr. 7.3 - Vývojový diagram řízení výšky letu

- Dílčí algoritmus je tvořen dvěma okruhy. První okruh má za úkol navést letoun na stanovenou výšku. Druhý okruh má za úkol udržovat stanovenou výšku.
- Operátorem je zde myšlen jak člověk, tak SAŘ.
- Operátor/SAŘ může změnit buď výšku letu, nebo algoritmus ukončit.
- Algoritmus obsahuje pojistku pro případ vybití baterie.

Dílčí algoritmus udržující UAV na stanovené trati:



Obr. 7.4 - Vývojový diagram udržující UAV na trati

- Dílčí algoritmus je tvořen dvěma okruhy. První okruh má za úkol navést letoun na stanovenou trať. Druhý okruh má za úkol udržovat letoun na stanovené trati.
- Operátorem je zde myšlen jak člověk, tak SAŘ.
- Operátor/SAŘ může změnit buď trať letu, nebo algoritmus ukončit.
- Algoritmus obsahuje pojistku pro případ vybití baterie.

7.2. 1. pilotovaná fáze

Algoritmus 1. pilotované fáze je řízen pilotem. Cílem tohoto algoritmu je navést letoun do vyčkávací pozice, která bude blízko místa vzletu. Tato pozice by měla být v takové vzdálenosti od pilota, aby byl celý let navigován vizuálně a ve výšce několika metrů, až desítek metrů nad zemí. V okamžiku, kdy se letoun dostane do požadované pozice, pilot aktivuje počáteční algoritmus, který převeze řízení.

Počáteční podmínky

UAV se nachází na vzletové a přistávací ploše.

Požadavky na 1. pilotovanou fázi

Navést letoun do vyčkávací pozice vhodné pro aktivaci počátečního algoritmu.

Způsob provedení

Pilot odstartuje ze vzletové a přistávací dráhy - VPD a po nejkratší možné trase přeletí s UAV do vyčkávací pozice. Letoun bude po celou nebo po značnou část letu 1. pilotované fáze stoupat. Konečná výška ve vyčkávací pozici by měla být v intervalu 10m až 50m.

7.3. Počáteční algoritmus

Jak již bylo napsáno výše, úlohou počátečního algoritmu je udržovat UAV pravotočivými zatáčkami v místě, na které jej navede pilot po provedeném vzletu. UAV bude udržovat konstantní výšku a vyčkávat až do okamžiku, kdy operátor odešle signál k pokračování v letu. Vzhledem k tomu, že avionický systém neobsahuje zatáčkoměr, bude primárním systémem, zajišťujícím ustálené zatáčení, sledovací systém vybavený GPS.

Počáteční podmínky

UAV se nachází ve výšce A . Letí rychlostí V . Nachází se v sektoru vymezeném GPS souřadnicemi x,y až $x+z, y+z$.

Požadavky na počáteční algoritmus

Udržet UAV ve výšce A , udržovat stanovenou rychlost letu SV a nacházet se v sektoru vymezeném GPS souřadnicemi x,y až $x+z, y+z$. Eliminovat všechny poruchy způsobené prostředím.

Způsob provedení

Pilot navede UAV po vzletu na výšku A , rychlostí V a do oblasti vymezení GPS souřadnicemi jako x,y až $x+z, y+z$. V okamžiku kdy dojde k aktivaci automatického systému řízení, algoritmus navrhne trať pravotočivé zatáčky. Trať bude navržena tak, aby nedocházelo ke změnám výšky A a aby byla celým svým průběhem v sektoru x,y až $x+z,$

y+z. Operátor také nastaví rychlost SV. Algoritmus bude poté porovnávat data odesílaná telemetrickým systémem a odchylky bude ihned opravovat.

Vývojový diagram:



Obr. 7.5 – Vývojový diagram počátečního algoritmu

7.4. Přibližovací algoritmus

Úlohou přibližovacího algoritmu je navést UAV z pozice, ve které jej udržuje počáteční algoritmus, do pozice stanovené jako výchozí bod pro vyhledávání. Jakmile UAV dosáhne výchozího bodu pro vyhledávání započne v dané oblasti vyčkávání pravotočivými zatáčkami. Toto vyčkávání bude provádět do doby, než dojde k aktivaci následujícího algoritmu operátorem.

Počáteční podmínky

UAV provádí vyčkávání ve výchozí pozici. Nachází se ve výšce A a letí rychlostí V, která je blízká rychlosti SV.

Požadavky na přibližovací algoritmus

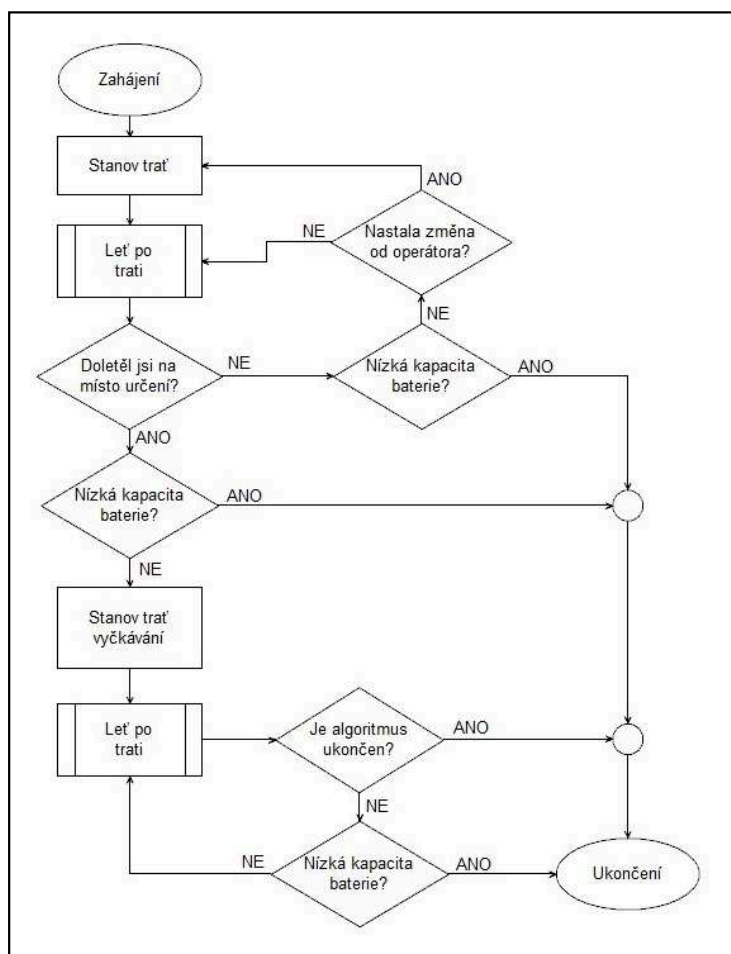
Provést výpočet tratě, udržovat stanovenou rychlost SV, nepřekročit maximální limit pro stoupaní a nastoupat do stanovené výšky SA. Eliminovat všechny poruchy způsobené prostředím.

Způsob provedení

Algoritmus provede let po nejkratší možné trati. Trať bude vypočítána automaticky. Případné nebezpečí střetu s překážkou bude muset být eliminováno přímo operátorem. Let bude prováděn rychlostí S, která bude blízká SV, bude stoupavý a bude stanoven maximální limit pro stoupaní s využitím údajů variometru. Jakmile dojde k nastoupání do požadované výšky, bude let převeden do vodorovného. V okamžiku kdy UAV dosáhne požadované oblasti, která bude vytyčena GPS souřadnicemi x, y až $x+z, y+z$, bude automaticky vypočítána trať pro vyčkávání v dané oblasti. Způsob zpracování této tratě je identický jako u počátečního algoritmu. Opět bude algoritmus porovnávat data odesílaná telemetrickým systémem a na odchylky bude ihned reagovat.

Vývojový diagram:

Vývojový diagram je pro část letu, která probíhá po trati, ve všech případech stejný. Vyjímkou je návratový algoritmus, který neobsahuje aktivační modul návratového algoritmu. To znamená, že vývojový diagram pro přibližovací algoritmus a algoritmus 1. až 3. fáze bude mít vždy následující podobu:



Obr. 7.6 – Vývojový diagram přibližovacího algoritmu a algoritmu 1. až 3. fáze

- Algoritmus je opět tvořen dvěma okruhy. První okruh jej udržuje na trati. Druhý okruh jej udržuje na vyčkávací trati.
- V průběhu daného letu je možné měnit trať.
- Operátorem je zde myšlen jak člověk, tak SAŘ.
- Algoritmus obsahuje pojistku pro případ vybití baterie.

7.5. Algoritmus 1. fáze

Tento algoritmus je řízen automaticky a obsluhuje první fázi samotného vyhledávacího letu. Vyhledávací let je navržen jako série ustálených, rovnoběžných vodorovných letů, jejichž trajektorie je navržena tak, aby se vyhledávací obrazce vysílané UAV částečně překrývaly. V první fázi bude vyhledávací let prováděn v nejvyšší výšce. Řádově 300m až 400m.

Počáteční podmínky

UAV se nachází ve výchozí pozici pro vyhledávání a ve výšce. V této pozici vyčkává pravotočivými zatáčkami.

Požadavky na algoritmus 1. fáze

Provést let podle výše zmíněného vyhledávacího obrazce. Po ukončení vyhledávacího letu zahájit vyčkávání pravotočivými zatáčkami a sklesat na výšku vhodnou pro Algoritmus 2. fáze.

Způsob provedení

Je nutné, aby před zahájením algoritmu 1. fáze zadal operátor do systému oblast, kterou je nutné prohledat. Tato oblast by se měla nacházet v těsné blízkosti výchozí pozice pro vyhledávání. Algoritmus poté provede sérii výpočtů, jejichž výsledkem budou body umístěné na vstupu/výstupu do/z vyhledávací oblasti. Spojnice vždy prvních párů těchto bodů budou tvořit rovnoběžky – budoucí trajektorie letu. Rovnoběžky budou od sebe vzdáleny tak, aby docházelo k částečnému překrytí vyhledávacích obrazců. Zatáčky budou prováděny mimo vyhledávací oblast. Po provedení samotného vyhledávacího letu algoritmus započne vyčkávání pravotočivými zatáčkami a v průběhu tohoto vyčkávání bude snižovat výšku letu na hodnotu požadovanou algoritmem 2. fáze.

Vývojový diagram:

Vývojový diagram algoritmu 1. fáze je stejný, jako vývojový diagram přibližovacího algoritmu.

7.6. Algoritmus 2. fáze a algoritmus 3. fáze

Tyto algoritmy budou fungovat na stejném principu jako algoritmus první fáze. Jediným rozdílem bude výška letu a hustota navrhovaných rovnoběžek - trajektorií letu. Tyto trajektorie je nutné navrhnout tak, aby opět docházelo k částečnému prolínání

vyhledávacích obrazců. Z toho vyplývá, že hustota navrhovaných trajektorií bude vyšší, jelikož plošný záběr biometrických systémů je se snižující se výškou letu nižší.

7.7. Návratový algoritmus

Návratový algoritmus primárně navazuje na algoritmus 1. 2. nebo 3. fáze. To závisí na výsledku vyhledávání. Úkolem tohoto algoritmu je navést UAV do oblasti, ve které bude moci řízení přebrat pilot. Tato oblast by měla být shodná s výchozí pozicí SAŘ.

Návratový algoritmus bude moci být aktivován také automaticky ve kterékoli části letu, a to v případě, že dojde k poklesu kapacity baterie pod předem stanovenou hodnotu. Tato hodnota bude stanovena konstruktérem letounu a měla by být dostatečná k provedení zpátečního letu.

K automatickému aktivování návratového algoritmu by ovšem nemělo docházet účelově. Jedná se pouze o pojistku proti ztrátě UAV v terénu.

Počáteční podmínky

UAV se nachází v bodě vytyčeném GPS souřadnicemi. Letí rychlostí V , která je blízká SV , ve výšce A , která je blízká SA .

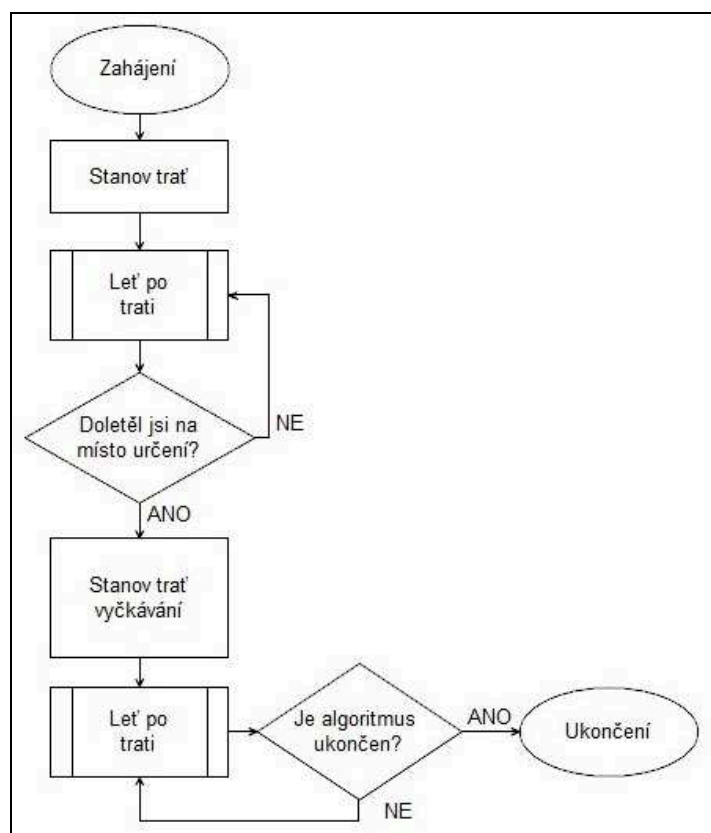
Požadavky na návratový algoritmus

Navést UAV po nejkratší možné trase do sektoru určeného operátorem. Ideálně by se mělo jednat o výchozí pozici SAŘ.

Způsob provedení

Algoritmus navrhne trasu, kterou bude spojnice aktuální polohy UAV a lokality určené operátorem. Poté provede let po této trati, bude udržovat rychlost SV a výšku SA . S největší pravděpodobností, v závislosti na zadání operátora, se bude jednat o sestupný let. Po dosažení sektoru určeného operátorem, algoritmus započne s vyčkáváním pravotočivými zatáčkami. Operátor musí opět zkontrolovat trať tak, aby nedošlo ke střetu s překážkami.

Vývojový diagram:



Obr. 7.7 – Vývojový diagram návratového algoritmu

7.8. 2. pilotovaná fáze

V této fázi bude algoritmus řízen pilotem. UAV bude navedeno na přistání a bude provedeno samotné přistání.

Počáteční podmínky

UAV se nachází ve výšce A , která je blízká výšce SA . Letí rychlostí V , která je blízká rychlosti SV . Nachází se v sektoru vymezeném GPS souřadnicemi x,y až $x+z, y+z$.

Požadavky na 2. pilotovanou fázi

Navést UAV na přistání a přistát.

Způsob provedení

Pilot naváže vizuální kontakt s letounem. Poté ukončí návratový algoritmus a s letounem bude manévrovat tak, aby došlo k bezpečnému přistání na předem stanoveném místě.

8. Zhodnocení naplnění cílů diplomové práce

Primárním cílem této práce bylo navrhnout avionický systém pro UAS, které je konstruováno za účelem SAR aktivity. Abych se dostal k samotnému návrhu tohoto systému, bylo nutné systém nejdřív přiblížit. To znamená definovat problematiku činnosti tohoto systému a poté navrhnout mechanismus, který bude danou problematiku řešit. Podle tohoto návrhu systému UAS jsem mohl definovat konkrétní činnosti, které jednotlivé UAV budou vykonávat a na základě požadavků pro vykonávání těchto činností určit nezbytné avionické systémy konkrétních UAV. V této části diplomové práce jsou dosaženy cíle:

- Přiblížit problematiku vývoje systému pro vyhledávání osob nebo majetku prostřednictvím UAV při VŠB – Technické univerzitě Ostrava.
- Navrhnout princip činnosti systému UAS.

V další části diplomové práce jsem se zabýval návrhem a výběrem konkrétních avionických systémů vhodných pro umístění do UAS. Stanovil jsem si požadavky, které tyto systémy musí splňovat a poté jsem porovnával vždy několik rozdílných systémů několika výrobců. Na základě porovnání jednotlivých parametrů jsem doporučil konkrétní avionické systémy. V této části diplomové práce jsou dosaženy cíle:

- Vybrat a doporučit k nákupu konkrétní avionické systémy.

V závěrečné části diplomové práce vycházím z výsledků, ke kterým jsem se dopracoval dříve a navrhuji algoritmus, jehož účelem je zajistit spolupráci jednotlivých, dříve vybraných avionických systémů umístěných na konkrétních UAV. Tento algoritmus je vzhledem ke své složitosti rozdělen na několik dílčích algoritmů. V této části diplomové práce jsou dosaženy cíle:

- Návrh algoritmu spolupráce jednotlivých avionických systémů.

8.1. Závěr

Během psaní této práce jsem měl na paměti, že se jedná o součást rozsáhlého projektu a že s mými návrhy bude nadále pracováno. Proto jsou všechna rozhodnutí zdůvodněna, a pokud by v budoucnu měla být některá doporučení měněna, bude celkem jednoduché určit jestli jsou takovéto změny pro systém jako celek únosné či nikoli. Práce také navrhuje systémy, jejichž osazení do UAS není nutné, ale pouze doporučené. Poskytuje proto určitou volnost následujícím konstruktérům.

Vzhledem k omezeným finančním prostředkům, které jsou pro tento projekt vymezeny, nebylo prozatím možné konkrétní systémy nakoupit a funkčně zapojit. Jedná se totiž o poměrně nákladný systém a finanční prostředky budou distribuovány na nákup konkrétních položek až v budoucnu, kdy budou všechny důležité dílčí projekty hotovy.

V budoucnu by také měly být zpracovány následující dílčí projekty, které budou z návrhu avionických systémů vycházet. Přímoou vazbu na tuto práci bude mít dílčí projekt, jež bude řešit systém automatického řízení. Stejně tak je potřeba dílčího projektu, jehož úkolem bude dořešit možnosti spojení a interpretace pořízených dat. Projektů, které je nutno v budoucnu zpracovat je samozřejmě mnohem více, ale tyto dva budou bezprostředně navazovat na tuto práci.

Celkově je systém UAS pro vyhledávání osob či předmětů velice sofistikovaný. Ovšem jedná se o součást leteckého průmyslu, která zažívá obrovský rozvoj a v následujících letech bude nabývat na významnosti. Bylo by proto chybou od tohoto projektu upustit.

Seznam použité literatury

- [1] <http://www.draganfly.com/news/2009/03/04/a-short-history-of-unmanned-aerial-vehicles-uavs/>
- [2] <http://www.pbs.org/wgbh/nova/spiesfly/uavs.html>
- [3] <http://cs.wikipedia.org>
- [4] <http://www.theuav.com>
- [5] <http://measure.feld.cvut.cz/groups/lis/edu/A3M38PRS/egpws.pdf>
- [6] Martinec, F. : Základy avioniky, přednáška č. 1
- [7] <http://gps-tracker.webnode.cz/>
- [8] <http://www.spionazni-technika.cz/>
- [9] <http://www.jetimodel.cz/>
- [10] <http://lomcovak.cz/lolo5-instrukce/>
- [11] http://www.halba.cz/produkty/mfly_air.html
- [12] <http://www.astramodel.cz/cz/katalog/spektrum/spektrum-telemetrie-air-rychlomer-p21224.html>
- [13] http://ucitel.spsbv.cz/kotlarik/index_soubory/ICT/Algoritmy.pdf
- [14] <http://www.manualy.net/article.php?articleID=12>
- [15] <http://www.algoritmy.net/>